

5 57^e jaargang

NATUUR '89 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad

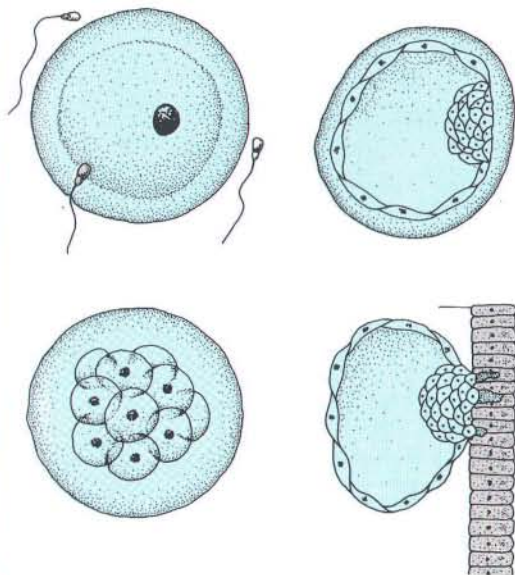


GENMANIPULATIE VAN PLANTEN / KENNISSYSTEMEN /
PERIODIEKE KOMEETREGENS / HET GRONDSYSTEEM / HIPPARCOS /
SILICIUM

DNA-diagnostiek

Onze erfelijke eigenschappen liggen vast in genen, die uit DNA bestaan. Door veranderingen in het DNA kunnen genen defect raken. In het onderzoek naar erfelijke ziekten en kanker probeert men defecte genen op te sporen. Daarnaast is men bezig om verwekkers van infectieziekten via hun DNA te identificeren. Met DNA-diagnostiek krijgt men voorkennis over het mogelijk optreden van erfelijke ziekten en afwijkingen. De vraag is hoe mensen met die kennis omgaan. Wil iemand weten welke kans op een bepaalde ziekte hij of zij loopt, ook als er nog geen behandeling mogelijk is? Mogen anderen die kennis gebruiken?

**Zojuist
verschenen**



INHOUD

Voorwoord

H.M. Dupuis

Wat is DNA?

A.M. Kroon

Voorbeelden van DNA-diagnostiek:

Erfelijke ziekten

G.J.B. van Ommen &

P.L. Pearson

Kanker

P. Borst e.a.

Infectieziekten

J. van der Noordaa e.a.

Psychologische aspecten

P.G. Frets & M. Vegter-v.d. Vliet

Maatschappelijke aspecten

J.K.M. Gevers

CAHIERS BIOWETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ

Voor abonnees op de Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij is dit nummer 2 van de 13e jaargang.

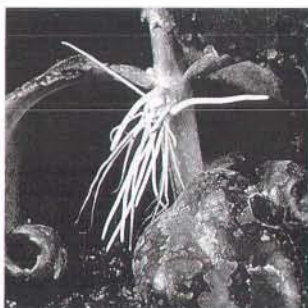
Abonnementsprijs (4 cahiers per jaar) f 25,00 of 485 F. Losse nummers f 7,50 of 145 F (excl. verzendkosten).

Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek – Informatiecentrum – Op de Thermen – Postbus 415 – 6200 AK Maastricht – Tel. 043-254044. Vanuit België: 00-31-43254044.

NATUUR '89 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 10,00 of 200 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

Bij de genetische manipulatie van planten, speelt de bodembacterie *Agrobacterium tumefaciens* een belangrijke rol. De bacterie is in staat genen in het DNA van planten in te bouwen. Normaal veroorzaakt de bacterie daarmee tumor in de plant, maar genetisch veranderde bacteriën kunnen tegenwoordig ook allerlei andere genen in de plant overbrengen (pag. 378-387).

(Foto: Rhône Poulenc, Lyon)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs H.E.A. Dassen, Drs W.G.M. Köhler, Drs T.J. Kortbeek.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Oldé Juninck.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel. 04759-1305.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Drs J.C.J. Masschelein, J. v. Rijn, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems, Drs G.P.Th. Kloeg.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israel, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluyser, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W. J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R. T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG OFFSET b.v., Echt (L.). Tel.: 04754-81223*.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044*.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044.

EURO
ARTIKEL

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), TECHNOLOGY IRELAND (EI), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO SCIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.



Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

INHOUD

ACTUEEL	IV
AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL	341
Gewoon en alternatief	

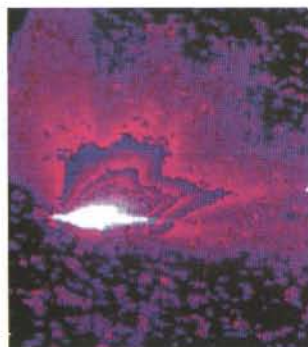
PERIODIEKE KOMEETREGENS

342

Breekpunten in de evolutie

Th. de Haan

Eens in de 28 miljoen jaar wordt de aarde getroffen door inslaande kometen. De gevolgen voor het leven op aarde zijn doorgaans desastreus. Zo zijn er aanwijzingen dat het uitsterven van de dinosaurussen, circa 65 miljoen jaar geleden, het gevolg was van zo'n ramp. Sterrenkundigen hebben zich gebogen over de mogelijke oorzaken van de periodieke komeetregens. In één hypothese wordt ervan uitgegaan dat de zon deel uitmaakt van een dubbelsterconfiguratie.



HET GRONDSYSTEEM

354

Basis voor het toetsen van geneeswijzen

W.A.M. Linnemans en R. van Wijk

'Alternatieve' geneeswijzen staan de laatste jaren sterk in de belangstelling. Hoewel menigeneen baat vindt bij een behandeling, is de werking van de meeste geneeswijzen niet bekend. Een probleem bij het onderzoek naar het effect is dat er feitelijk geen methode bestaat die zowel voor de alternatieve genezers als de sceptici aanvaardbaar is. Hoe zou men een onderzoek moeten opzetten dat natuurwetenschappelijk verantwoord is, en de diverse geneeswijzen in hun waarde laat?



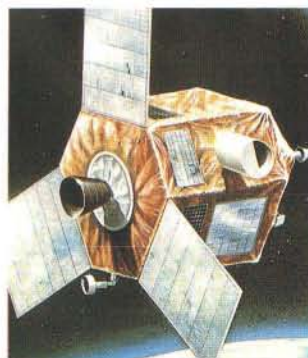
HIPPARCOS

366

Sterren op hun plaats gezet

A.A. Schoenmaker

Na bijna tien jaar plannen maken, experimenteren, bouwen en testen, zal in juni de kunstmaan Hipparcos in een baan rond de aarde gebracht worden. Hipparcos moet een revolutie teweegbrengen in het wereldje van de sterrenkundigen die zich met de bepaling van de plaats en afstand van sterren bezighouden. Naar verwachting zullen de gegevens die Hipparcos hierover verzamelt twintig maal zo nauwkeurig zijn, dan wat vanaf de aarde mogelijk is. Het onderzoek naar bewegingen binnen ons zonnestelsel en onze melkweg zal er belangrijke nieuwe impulsen van ondervinden.



NATUUR '89 & TECHNIEK

mei/ 57^e jaargang/1989



GENMANIPULATIE VAN PLANTEN

378

De constructie van resistente rassen

J.H. Botterman

Planten hebben altijd een rol gespeeld in het leven van de mens, vooral als voedselbron. In de loop der tijd zijn steeds nieuwe variëteiten ontwikkeld die een hogere opbrengst gaven of beter bestand waren tegen allerlei plagen, koude en droogte. Hierbij werd steeds van klassieke kruisingen gebruik gemaakt. Met genetische manipulatiemethoden is het thans mogelijk gericht aan de eigenschappen van planten te sleutelen. Zo wordt gewerkt aan planten die resistent zijn tegen bepaalde herbiciden, of aan insecten en virussen het hoofd kunnen bieden.



KENNISSYSTEMEN EN REDENERENDE MACHINES

388

N.J.I. Mars

Het idee dat een machine intelligent zou kunnen zijn, is fascinerend, maar ook bedreigend. Is intelligentie niet iets dat is voorbehouden aan bepaalde diersoorten, in het bijzonder de mens? De laatste jaren worden steeds meer programma's geschreven, die computers in staat stellen taken uit te voeren waarvoor intelligentie is vereist. In dergelijke programma's zijn de gedachtenstappen van deskundigen op een bepaald gebied opgenomen. Deze expertsystemen en onderdelen van de robotica zijn het resultaat van het onderzoek naar kunstmatige intelligentie.



SILICIUM

398

Het aardse element

J. Reedijk

De aardkorst bestaat voor 28 gewichtsprocent uit silicium, dat daarmee na zuurstof het meest voorkomende element is. Zand, kleien en andere mineralen bevatten silicium. Dit element kent een waaier van toepassingsmogelijkheden: in aardewerk, glas, beton, polymeren, katalysatoren, halfgeleiders, zonnecellen en chips. Sommige toepassingen zijn al eeuwenoud, andere van de laatste paar jaren. Ook levende wezens bevatten silicium. In sommige planten is het bij uitstek het materiaal dat voor stevigheid zorgt.

ANALYSE EN KATALYSE

410

De ramp die geen ramp was/Een fysicus met een dilemma

TOETSVRAGEN/PRIJSVRAAG

419

ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving
natuur en techniek

NTT ziet het eerste licht

Bij een schip dat te water gaat vragen de toeschouwers zich altijd af: blijft hij drijven? Bij een nieuwe auto is de eerste start spannend en op een nieuwe fiets moet je altijd maar afwachten of de remmen het doen. Voor sterrenkundigen is het 'eerste licht' dat een nieuwe telescoop ziet een belangrijk moment.

Natuurlijk zijn bij een grote telescoop de onderdelen allemaal door en door getest en soms is het instrument ook al in een laboratoriumsituatie eens bijna compleet beproefd. Maar daarna gaat het instrument op reis naar een hoge bergtop in een afgelegen gebied en komt daar in een nieuwe behuizing te staan.

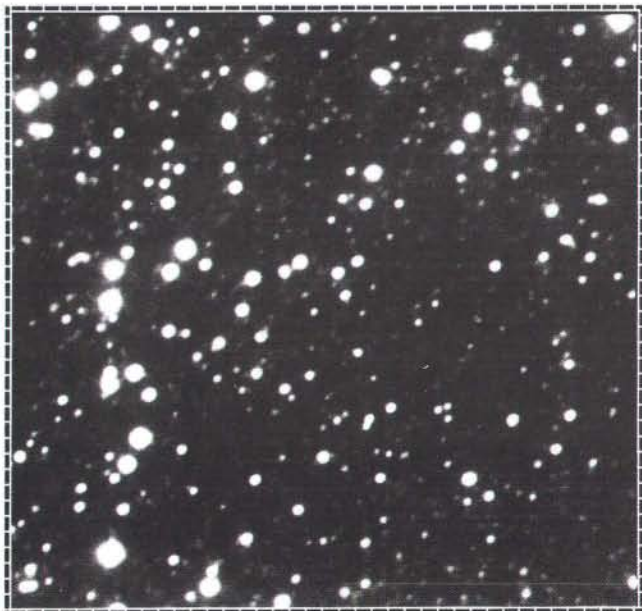
Op 23 maart, vroeg in de ochtend, maakte de splinternieuwe New Technology Telescope (NTT) van de Europese Zuidelijke Sterrenwacht (ESO) op zijn standplaats op de berg La Silla in Chili zijn eerste opnamen van beelden uit het heelal. Nadat ze waren vastgelegd en bestudeerd volgden de enthousiaste 'ooohs' en 'aaahs' van sterrenkundigen in Chili en de Bondsrepubliek Duitsland. De NTT voldoet geheel aan de hooggespannen verwachtingen, zo laat het zich aanzien.

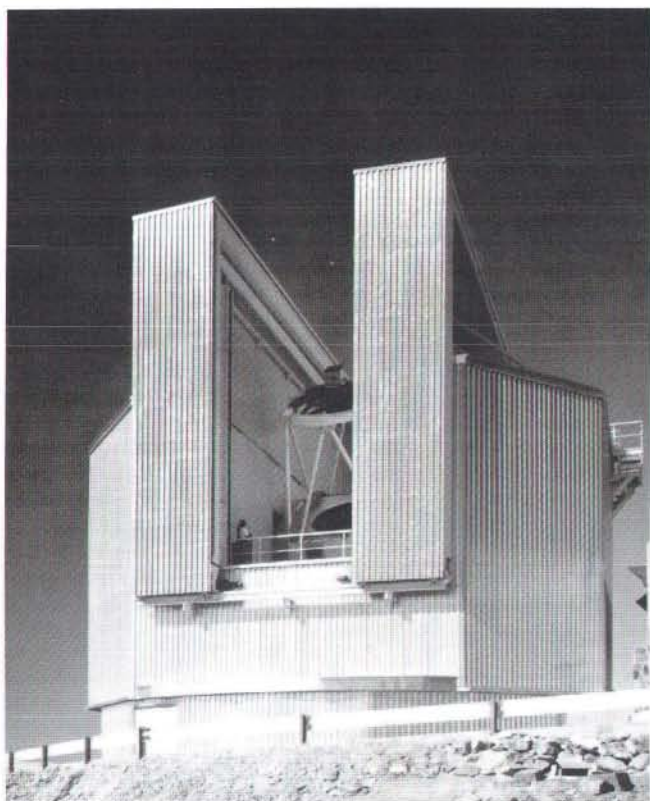
De NTT is een grote telescoop. De primaire spiegel heeft een diameter van 3,5 m. De NTT is daarmee de naaste collega van de andere grote ESO-telescoop op La Silla, die een spiegel van 3,6 m heeft. Die telescoop is in 1976 in bedrijf gekomen. De verschillen tussen beide telescopen maken iets duidelijk van de enorme technologische vooruitgang die tus-

sentijds heeft plaatsgehad. De NTT dankt zijn naam aan het feit dat het helemaal een telescoop is uit het computertijdperk. Het bewegingssysteem van de telescoop kon veel eenvoudiger worden geconstrueerd, omdat de telescoop computergestuurd wordt gericht. Rekenapparatuur zorgt er ook voor dat de grote spiegel veel dunner kan zijn. De spiegel zakt wel door, maar door vele verstelbare steunpunten wordt de vorm voortdurend automatisch gecorrigeerd. Om luchturbulentie rond de behuizing te voorkomen, wat een bron van onscherpte is, is het onderkomen van de telescoop thermisch volkomen gecontroleerd. Er bestaan dank zij inge-

nieuze koelsystemen geen grote temperatuurverschillen meer tussen binnen en buiten. De NTT kijkt daardoor driemaal scherper dan zijn oudere broer, verzamelt zijn beelden driemaal zo snel en de spiegel is driemaal zo licht als die van de oude telescoop. Toch kostte de telescoop maar een derde van wat de oude voorganger indertijd kostte, en, wat misschien een grotere prestatie is, de uiteindelijke kostprijs bleef binnen de vastgestelde begroting.

Wat de optische kwaliteit betreft, zal de toestand van de atmosfeer waar het sterlicht doorheen valt waarschijnlijk steeds van grotere storende invloed zijn dan de fouten in het optische systeem zelf.





Eén van de eerste beelden van de New Technology Telescope is deze opname van een stukje van 47 bij 47 boogseconde uit het centrum van het sterrenbeeld Omega Centauri. Voor optisch sterrenkundigen is deze opname het neusje van de zalm. Zij is volgens alle normen in de optische astronomie extreem scherp en in de zeer korte tijd van 10 seconden opgenomen met een CCD-opnemer met pixels van $23\mu\text{m}$, die een stukje hemel van 0,123 boogseconden 'zien'. Dit beeld werd direct na de waarneming vanuit La Silla met een

satellietverbinding naar het ESO-hoofdkwartier in Garching bei München verstuurd, van waar uit steeds meer telescopen op La Silla op afstand zijn te bedienen (Foto: ESO).

De New Technology Telescope in zijn nieuwe behuizing op La Silla in Chili. Het telescoophuis is uitgebreid in de windtunnel beproefd om ongewenste windwervelingen zoveel mogelijk te vermijden. Het is met hetzelfde doel onderworpen aan een strikte temperatuurregulatie (Foto: ESO).

Een goede waarneemdag kent een *seeing* van tussen de 0,36 en 0,50 boogseconde, wat wil zeggen dat sterbeelden die zo'n hoekje uit elkaar liggen nog gescheiden worden waargenomen. De schatting is momenteel dat de telescoop zelf een nauwkeurigheid heeft van 0,15 tot 0,20 boogseconde.

Eén van de eerste prestaties van de NTT was het gescheiden ontfangen van lichtsignalen van een dubbelster die slechts 0,79 boogseconde uit elkaar liggen.

(Persbericht ESO)

De ozonlaag wacht op maatregelen

De ozonlaag is niet meer uit de actualiteit weg te branden. Het lijkt er op dat het einde van de wereld in aantocht is. Zijn we de tak waar we met ons allen op zitten aan het doorzagen? Of is het weer een groen alarm op emotionele gronden?

Ozon is een verbinding van zuurstofatomen. Zuurstofgas bevat twee atomen zuurstof, ozon drie. Dat heeft zo zijn chemische gevolgen, waarvan de interessantste is dat ozon in staat is om harde ultravioletstraling van de zon op te vangen. Als die straling tot op het aardoppervlak zou doordringen, zouden we allemaal wat bruiner zijn, maar zou ook het aantal huidkankers en oogziekten toenemen. De planten zouden minder goed groeien. Ook het plankton in de oceanen zou erop achteruitgaan, en daarmee het hele zeeleven. Verschillende plastics zouden op zijn minst vergelen, en in het ergste geval snel verpulveren.

In het bovenste deel van de atmosfeer, de stratosfeer, tussen vijftien en twintig kilometer hoogte, bevindt zich een laag ozon. Die wordt door natuurlijke fenomenen voortdurend afgebroken en weer bijgemaakt. De ozonconcentratie schommelt dus nogal, maar blijft binnen bepaalde grenzen.

In de jaren zeventig berekenden de Amerikaanse hoogleraar Rowland en zijn assistent Mario Molina dat ozon heel efficiënt wordt afgebroken door atomair chloor. Eén chlooratoom kan duizenden ozonmolekulen afbreken. Dat chloor wordt, behalve door natuurlijke bronnen, geproduceerd door de zogenaamde chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's). Voorheen heetten die freonen, een naam die ten minste uit te spreken is, maar Freon is een merknaam van Du Pont de Nemours.

Dat bedrijf wilde niet alleen voor de slechte faam opdraaien, en verzocht iedereen met aandrang het verschil tussen een soortnaam en een merknaam te respecteren. Alhoewel cfk's al van de jaren dertig bekend zijn, begonnen we ze pas in de jaren zestig echt te gebruiken. Ze zijn totaal onreactief, helemaal niet giftig en evenmin brandbaar. CFK's gaan bij kamertemperatuur van vloeistof in gas over, met een interessante verdampingswarmte. Ze geleiden uitstekend warmte maar geen elektriciteit. Ze leken ideale drijfgassen voor spuitbussen, blaasgassen voor schuimplastic, koelvloeistoffen voor de koude-industrie en reinigers voor de elektronica-industrie.

Door hun stabiliteit zijn ze echter na ettelijke jaren onveranderd tot in de stratosfeer gedreven. De harde zonnestraling breekt ze wel af, met alle gevolgen voor de ozonlaag. Tenminste, zo was de redenering. Zoiets twee plus twee bewijzen, is weer een ander paar mouwen.

In 1986 werd een echt gat boven de zuidpool ontdekt. Elke lente (onze herfst!) daalt de ozonconcentratie boven de zuidpool, maar de laatste jaren was die daling enorm, veertig, vijftig, zestig procent, met plaatselijk uitschieters naar negentig. Bizar genoeg werden die cijfers al jaren gemeten door een weersatelliet, maar verwierp de computer ze automatisch, als 'te belachelijk'.

Er werd wat gestreden aan de hand van weerkundige en chemische theorieën, maar begin 1988 was de zaak duidelijk: het ozongat wordt veroorzaakt door chloor van de CFK's, in combinatie met de alleen tijdens de winter en lente voorkomende *vortex*, een ringvormige wind rond het continent die de zuidpoolatmosfeer afsluit van de rest van de wereld. Verder zijn de eveneens alleen dan en daar voorkomende ijle ijswolken in de stratosfeer nodig. De ijskristalletjes concentreren HCl tot tien miljard maal, en dat

HCl maakt de chloor – en de eveneens schadelijke stikstofoxyden – weer vrij uit de onreactieve verbinding ClONO_2 . Het laatste noodzakelijke ingrediënt is een beetje licht, niet te veel. Het ozongat zal dus aan het eind van de poolnacht ontstaan.

Intussen zijn ook aan de noordpool een vortex, stratosfeerwolken en veel chloor aangetoond. Gelukkig verdwijnt de vortex daar vóór het eind van de poolnacht.

Het lot van de ozonlaag boven de rest van de wereld is nog niet duidelijk. Een beduidende stijging van de ultravioletstraling op grondniveau, zelfs onder het ozongat, is nog niet gemeten. Aan de andere kant blijven, zelfs als we nu met CFK-productie stoppen, nog een halve eeuw CFK's in de stratosfeer arriveren. Moeten we maatregelen nemen? De internationale publieke opinie, met in haar kielzog de politici en zelfs de betrokken bedrijven, hebben beslist van wel.

In Londen vond begin maart, op uitnodiging van Margaret Thatcher, een driedaagse conferentie over ozon plaats. Honderdvierentwintig landen waren, merendeels op ministerniveau, vertegenwoordigd, naast actiegroepen en topmensen uit industrie en wetenschap. Je zat er, zeker de eerste dag toen het probleem geschetst werd, tot aan je nek in de goede bedoelingen. Het was slaapverwekkend om al die landen in de hun toebemeten vijf minuten in ambtelijk proza dezelfde hoogdravende verklaringen te horen afleggen. Maar het belang van zo'n conferentie is dat veel landen over het fenomeen ozongat en hun positie ertegenover moeten nadenken. Dat bleek toen de ontwikkelingslanden aan het woord kwamen. Het werd al snel duidelijk dat ze wel inzien dat de afbraak van de ozonlaag ook voor hen een bedreiging vormt, maar dat ze daar op dit moment weinig kunnen aan doen. In de woorden van de Indiase delega-



tie: "Jullie zijn door een technologische fase gegaan, en komen nu in de ecologische. Wij moeten echter nog beginnen met het verdienen van het geld waarmee we onze milieubescherming moeten betalen." We weten nu dat de ontwikkelingslanden het protocol van Montreal zullen ondertekenen, zodra er een internationaal fonds voor hulp bij hun milieuzorg opgericht is.

In dat protocol van Montreal werd eind 1987 overeengekomen het gebruik én de productie van CFK's tegen het eind van de eeuw met de helft te verminderen. Hetzelfde geldt voor een aantal *halonen*. Dat zijn blusgassen waar



Galileosonde

De atmosfeer van Jupiter zal in 1995 worden bestudeerd vanuit het ruimtevaartuig Galileo, dat in een baan om Jupiter terecht moet komen. Dan moet de op de foto afgebeelde sonde vanuit het ruimtevaartuig aan een tocht door de atmosfeer van Jupiter beginnen. De sonde ondergaat momenteel de laatste tests bij producent Hughes Aircraft Company in Californië alvorens aan de NASA te worden overgedragen voor inbouw in het ruimtevaartuig. De kleine sonde zal in de atmosfeer van Jupiter zo sterk afremmen dat zij tijdelijk het gewicht krijgt van een lege DC-10. Na die eerste hevige snelheidsafname zal de sonde op haar beurt weer een kleine module met instrumenten aan een parachute loslaten die ongeveer een uur lang vele gegevens over Jupiters atmosfeer zal verzamelen.

*(Persbericht
Hughes Aircraft Company)*

Prijs voor biologiewerkstuk

Alle jongeren die in november 1990 nog geen 25 jaar oud zijn, worden uitgenodigd mee te dingen naar de **J.A. Nijkampprijs 1990**.

Het bestuur van de Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging stelt om de twee jaar een prijs beschikbaar voor werkstukken die gemaakt zijn door jongeren en die betrekking hebben op een onderwerp uit de (veld)biologie of de natuurbescherming. Dit werkstuk kan bestaan uit een geschreven tekst, maar ook uit een fotoreportage, een geluidsregistratie of iets anders.

Deelnemers moeten hun werkstuk voor 1 maart 1990 insturen naar de KNNV, Oudegracht 237, 3511 NK Utrecht, onder vermelding van 'J.A. Nijkampprijs'. Na beoordeling door de jury zal de prijs, die bestaat uit een oorkonde en een geldbedrag van f 1000,- worden uitgereikt op de vergadering van de KNNV op 3 november 1990. Nadere inlichtingen ☎ 030-314797.

broom uit vrijkomt. De ontwikkelingslanden krijgen tien jaar uitstel, waarin ze zelfs eerst nog mogen groeien tot een verbruik van 0,3 kg CFK's per hoofd, terwijl wij al vijfmaal zoveel gebruiken. Als we het ozongat, en de waarschijnlijke afbraak van de ozonlaag boven de rest van de wereld, willen verhinderen, gaat 'Montreal' niet ver genoeg. Dat zag de EG in. Vlak voor, en misschien door, de conferentie in Londen kondigde de EG aan de CFK's zo snel mogelijk voor 85% uit te bannen, en vóór het einde van de eeuw de 95% te halen. De VS haastten zich om zich daarbij aan te sluiten.

De Sovjetunie, op veel terreinen nog een beginnende industrieland, wil voorlopig niet méér doen dan wat ze in Montreal beloofde. Ze probeerde in Londen de rol van weerkundige factoren bij ozon-afbraak te benadrukken, en produceerde zelfs een kaart van een ozongat boven Europees Rusland, dat hoofdzakelijk door weerkundige factoren wordt veroorzaakt. Het wordt groter en kleiner in een vijftiendaagse cyclus, en beweegt van west naar oost, gekoppeld aan een cycloon. Zo'n cycloon, net als de veel grotere vortex een cirkelvormige wind, sluit eveneens een stukje atmosfeer in zijn binnenste af,

waardoor de op lagere hoogte geproduceerde ozon verhinderd wordt de steeds dunner wordende ozonlaag in het centrum te bereiken. De Sovjets maten 25% afname, ongewoon veel voor zo'n fenomeen.

In mei worden door de ondertekenaars van het protocol van Montreal, het zijn er nu zestig, in Helsinki de bakens uitgezet voor een herziening van het protocol. Dat moet een voorstel voor steun aan de ontwikkelingslanden bevatten. Volgend jaar in Londen moet de herziene tekst worden goedgekeurd.

Pieter Van Dooren

Biomaatschappij

Manipuleren, ook met het leven, is karakteristiek voor de mens. Dit schrijft Prins Claus in het voorwoord tot dit cahier. De consequenties van de manipulaties die bij de huidige stand van de wetenschap mogelijk zijn, vragen echter ernstige overdenking. Wat willen we met onze technische mogelijkheden eigenlijk bereiken? Creëren we daarmee een betere wereld?

Een greep uit de inhoud:

Voorwoord

Z.K.H. Prins Claus

Manipuleren van micro-organismen en planten

N.W.F. Kossen

Genetische manipulatie in de veehouderij

A.J.H. van Es

De nieuwe biologie en de geneeskunde

P. van Duijn

Ingrijpen in de voortplanting van de mens

E.V. van Hall

Manipuleren van het milieu

A.J. Wiggers

Een biorevolutie?

J.J. van Duijn



CAHIERS BIOWETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ

Het cahier BIOMAATSCHAPPIJ kan worden besteld bij Natuur & Techniek – Informatiecentrum – Postbus 415 – 6200 AK Maastricht – Tel. 043-254044 (vanuit België: 00-3143254044). Het kost f 7,50 of 145 F (excl. verzendkosten).

AUTEURS

Drs Th. de Haan ('Komeetregens') is op 20 april 1961 in Amsterdam geboren. Hij studeerde natuur- en sterrenkunde aan de Universiteit van Amsterdam. Sinds 1987 is hij als fysicus/informaticus verbonden aan de Faculteit der Bewegingswetenschappen van de Amsterdamse Vrije Universiteit.

Dr W.A.M. Linnemans ('Grondsysteem') is directeur van het Centrum voor Integrale Gezondheidszorg 'De Nieuwe Vaart' in Hilversum. Hij is geboren in Rheden op 30 juli 1946 en studeerde biologie in Utrecht. Van 1971 tot 1988 hield hij zich in Utrecht bezig met onderzoek naar de ultrastructuur van cellen. Hij promoveerde in 1977.

Dr R. van Wijk ('Het grondsysteem') is geboren in Schiedam op 19 februari 1942. Hij studeerde biologie in Utrecht, waar hij in 1968 promoveerde. Hij is verbonden aan de vakgroep Moleculaire Celbiologie van de Utrechtse universiteit en is er tevens lid van de werkgroep biologische en natuurlijke geneeswijzen.

A.A. Schoenmaker ('Hipparcos') is verbonden aan de Kapteyn Sterrenwacht in Roden, waar hij zich bezighoudt met de ontwikkeling van astronomische instrumenten. Hij is geboren in Den Haag op 24 maart 1945 en volgde na zijn HBS-B-opleiding diverse cursussen wetenschappelijk rekenen en informatica.

Dr ir J.H. Botterman ('Genmutaties') is op 30 mei 1958 in Waregem geboren. Hij studeerde scheikunde en landbouwwetenschappen aan de Rijksuniversiteit Gent, waar hij in 1986 promoveerde. Sindsdien is hij werkzaam bij de firma Plant Genetic Systems in Gent, als projectleider genetische manipulatie.

Prof dr ir N.J.I. Mars ('Kennissystemen') is sinds 1985 hoogleraar expertsystemen aan de Universiteit Twente. Hij is geboren in Amsterdam op 23 september 1949 en studeerde elektrotechniek aan de toenmalige TH Twente, waar hij ook, in 1982, promoveerde. Behalve in Twente, werkte hij eerder in Leiden en Yale (USA).

Prof dr J. Reedijk ('Silicium') is geboren in Westmaas in de Hoeksewaard op 3 augustus 1943. Hij studeerde anorganische chemie aan de Rijksuniversiteit in Leiden, waar hij in 1968 promoveerde. In 1972 werd hij benoemd tot lector aan de TH Delft; sinds 1979 is hij hoogleraar anorganische chemie in Leiden.

Gewoon en alternatief

De moeilijkheden waarvoor men zich gesteld ziet als men met gewone, andere zijn er niet, wetenschappelijke methoden de effectiviteit van 'alternatieve' geneeswijzen wil onderzoeken, zijn zeer groot. Om te beginnen zijn er zeer veel opvattingen over de manier waarop men ziekten moet diagnostiseren en bestrijden, opvattingen die niet meer met elkaar gemeen hebben dan dat ze verschillen van, zeg maar, de officiële geneeskunde. Het spectrum loopt van de acupunctuur tot aan ver buiten het gezichtsveld van de gewone medicus vallende zaken als piskijken en Bachs bloementherapie.

Een onderzoek, of een discussie over de mogelijkheden van een onderzoek, heeft bovendien maar een kleine kans nuttig te zijn, gezien de fantastische spraakverwarring die voortvloeit uit verschillen in definitie van zo ongeveer alles. Waar de één ziekten zal classificeren aan de hand van verschijnselen en organen, zal de ander meer geneigd zijn dat te doen in termen van oorzaken volgens het gehanteerde theoretische model, waarbij wat de één als ziekte ziet voor de ander slechts een toevallig symptoom kan zijn, wat de één als veroorzaker aanduidt, door de ander als intermediair zal worden gezien. Tenzij men goede gronden heeft om de ene beschouwingswijze te verkiezen boven de andere geeft bovenstaande aanduiding van verschillen natuurlijk geen uitsluitsel over het beter, gelijkwaardig of minder goed zijn van de ene of de andere benadering.

Er zijn twee redenen waarom men toch wel iets van een vergelijking zou willen maken. De eerste is natuurlijk een zaak van de officiële erkenning van alternatieve geneeswijzen. Veel verzekeringsmaatschappijen erkennen in elk geval de kosten als kosten ter genezing van ziekten. De overheid en daarmee verbonden instellingen zijn wat minder vlot – en niet ten onrechte als men bijvoorbeeld kijkt naar de eisen die voor toelating van een nieuw geneesmiddel gelden. De tweede reden geldt de vraag of er ook onderzoeksgeld naar de alternatieve geneeswijzen zou moeten gaan.

Alternatieve geneeswijzen claimen (uiteraard), dat veel mensen er baat bij vinden, zie bijvoorbeeld het artikel van W.A.M. Linnemans en R. van Wijk op pag. 354. Als dat zo is, dan moet dat aantoonbaar zijn. Daarbij zal goed moeten worden gedefinieerd wat 'baat' is. In de gangbare geneeskunde wordt een lichamelijke afwijking geconstateerd, en de 'baat' bestaat uit het verdwijnen van die afwijking. Evenwel, van alle mensen die bij een huisarts komen, vertoont slechts een kwart een aantoonbare afwijking van enige soort. Men kan de overige 75% niet afdoen als simulant of iets dergelijks, maar men zal moeten spreken van door de medische wetenschap (nog) niet begrepen verschijnselen. De indruk bestaat, dat (sommige?) alternatieven juist voor deze onbegrepen verschijnselen iets te bieden kunnen hebben. Het lijkt nuttig dat te bezien alvorens men onderzoek doet naar de eventuele werking van de alternatieven. Wanneer mensen bij iets baat vinden moet dat statistisch aantoonbaar zijn; we moeten aannemen dat niet-aantoonbare baat niet bestaat. Het heeft weinig zin onderzoek te doen naar de verklaring van iets waarvan het bestaan niet zeker is.

P E R I O D I E K E |||||


KOMEETREGENS

BREEKPUNTEN IN DE EVOLUTIE

De ondergang van de dinosaurussen. Volgens Amerikaanse geologen botsten 65 miljoen jaar geleden één of meer kometen met de aarde. Dit had catastrofale gevolgen voor het leven. Niet alleen deze reptielen stierven uit, maar ongeveer de helft van alle levende wezens.

Theo de Haan
Amsterdam





Eens in de 28 miljoen jaar wordt het aardoppervlak geteisterd door inslaande kometen. De gevolgen van deze inslagen voor het leven op aarde zijn in vele gevallen desastreus. Zo zijn er bijvoorbeeld sterke aanwijzingen dat het uitsterven van de dinosaurussen, zo'n 65 miljoen jaar geleden, een direct gevolg is van zo'n ramp. In de afgelopen jaren hebben sterrenkundigen zich gebogen over de vraag wat de oorzaak van dergelijke calamiteiten kan zijn. Eén van de geopperde modellen gaat ervan uit dat de zon deel uit maakt van een dubbelsterconfiguratie. Met andere woorden: onze zon vormt een duo met nog een andere ster. Deze zou in een zeer wijde baan om de zon cirkelen en zich eens per omloop door een kometenwolk aan de rand van ons zonnestelsel bewegen. Van de kometen die daarbij worden verstrooid zaait vervolgens een aantal dood en verderf op aarde, waardoor de loop van de evolutie plotseling een heel andere wending kan krijgen.

Vrijwel alle plante- en diersoorten die ooit op aarde leefden, zijn in de loop der tijd uitgestorven. Het uitsterven van soorten wordt in het algemeen gezien als een natuurlijk en vooral geleidelijk proces. Paleontologen hebben in de afgelopen jaren echter vele feiten aangedragen die er op duiden dat er in de geschiedenis relatief korte perioden voorkomen waarin sprake is van het massaal uitsterven van soorten. In de laatste 570 miljoen jaar zijn er minstens vijf van dergelijke perioden te onderscheiden. De meest recente viel zo'n 65 miljoen jaar geleden, toen een zeer groot deel van het leven op aarde werd vernietigd. Het waren dramatische breekpunten in de overigens geleidelijk verlopende evolutie. Indrukwekkend en mysterieus hierbij was het plotselinge verdwijnen van de dinosaurussen. Deze reptielen, waarvan enkele soorten tot de grootste dieren behoren die ooit op het land leefden, bevolkten de aarde ruim 130 miljoen jaar.

Soorten, geslachten en zelfs families staan permanent bloot aan het gevaar dat ze door betrekkelijk kleine verstoringen in het leefmilieu uitsterven. Aan het tegelijkertijd uitsterven van een groot aantal soorten, zoals 65 miljoen jaar geleden, moet echter een catastrofale gebeurtenis zijn voorafgegaan. Bovendien heeft deze ramp, waarbij maar liefst 50% van alle geslachten volledig uitstierf, zich hoogstwaarschijnlijk over de hele aarde voltrokken.

De suggestie dat deze biologische crisis een buitenaardse oorsprong had werd in het begin van de jaren tachtig onderbouwd door Amerikaanse geologen. Ten behoeve van de ouderdomsbepaling van aardlagen verrichtten zij onderzoek aan het voorkomen van het element *iridium*. Iridium komt weinig voor in de aardkorst omdat het bij de grote hitte tijdens de vorming van de aarde een legering met ijzer aanging en in de aardkern terechtkwam. De geologen stuitten echter op een ongewoon hoge iridiumconcentratie in de laag die de grens vormt tussen twee geologische perioden: het *Krijt* en het *Tertiair*. Deze laag is 65 miljoen jaar geleden gevormd, precies in de tijd waarin massaal plante- en diersoorten uitstierven.

De hoge iridiumconcentratie verklaren zij met de inslag van een planetoïde of een komeet. In deze objecten is de iridiumconcentratie tot een factor 10 000 hoger dan in de aardkorst. De gedachte is dat bij de inslag een grote, iridiumrijke stofwolk ontstond, die vervol-

gens in korte tijd de aarde omcirkelde om ten slotte werelwijd in een laag van enkele centimeters dikte neer te dwarrelen. Inmiddels is deze laag inderdaad op vele plaatsen over de gehele wereld aangetoond.

Gevolgen van een botsing

Uit de dikte van de iridiumrijke laag kon worden afgeleid dat de komeet of planetoïde enkele kilometers groot moet zijn geweest. Dat een dergelijk object bij zijn inslag op aarde een grote ramp veroorzaakt, wekt geen verwondering. Bij een niet ongewone *inslagsnelheid* van meer dan $30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ (de snelheid waarmee de aarde om de zon beweegt) komen er bij inslag miljoenen megaton ($1 \text{ Mt} = 4,2 \times 10^{15} \text{ J}$) energie vrij. Om een indruk te geven van de grootte hiervan: de energie-inhoud van het totale nu-

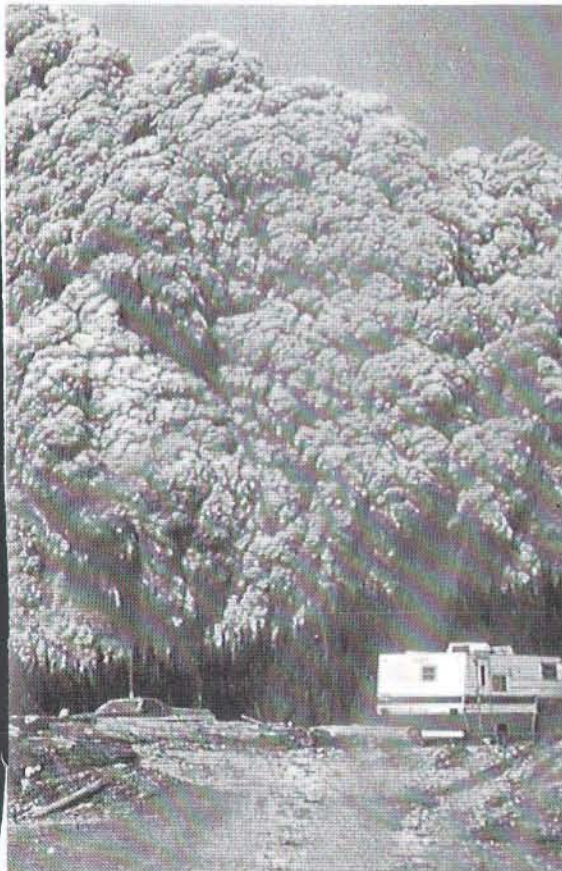


1. Een botsing tussen een betrekkelijk groot hemellichaam en een meteoriet doet ongetwijfeld veel stof opwaaien. 'Recente' vulkaanuitbarstingen, zoals die van de Krakatau in 1883 en van Mount Saint Helens in 1980 (foto) maakten al zoveel rook en stof los, dat over de hele wereld meetbare vermindering van de zoninstraling optrad.

2. Ongeveer 40000 jaar geleden sloeg een meteoriet in in wat nu de Amerikaanse staat Arizona is en liet deze krater achter. Het object moet ongeveer 35 meter groot geweest zijn, maar sloeg een krater van 1200 m, met een diepte van 167 m.

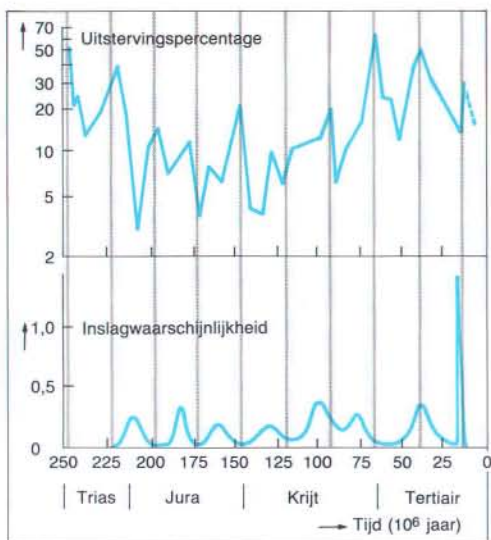


2



cleaire wapenarsenaal van de Verenigde Staten en de Sovjetunie bedraagt ongeveer 50 000 Mt. Het is aan dit wapentuig te danken dat de wetenschap zich reeds uitgebreid heeft beziggehouden met de desastreuze gevolgen van grote klappen. Eén van de meest waarschijnlijke rampenscenario's is het volgende.

Bij inslag van de meteoriet komt voldoende energie vrij om stof- en gruisdeeltjes in een baan om de aarde te schieten. Binnen een paar uur verspreiden deze zich over de hele hemel. Bij een inslag-energie van enkele miljoenen megaton zal de hoeveelheid gruis, zelfs bij inslag in een oceanabodem, aanzienlijk zijn. Het neerddwarren van de deeltjes door de atmosfeer zal waarschijnlijk enkele maanden tot een half jaar in beslag nemen. Al die tijd is het heel donker op aarde, waardoor de fotosynthese bij planten stopt. In de oceanen zal al het plantaardig plankton verdwijnen. Biologen hebben aan de hand van computermodellen vastgesteld dat, afhankelijk van het seizoen, één tot drie maanden duisternis voldoende is om het van plantaardig plankton levende dierlijk plankton te doden. Hierna zal ook de rest van de voedselketens in de oceanen snel uitsterven. Een soortgelijk verhaal gaat op voor het leven op het land: als door tijdelijke verduistering de planten afsterven, zullen eerst de herbivoren en vervolgens ook de carnivoren het loodje leggen.



3

3. In de afgelopen 250 miljoen jaar is voor 39 tijdvakken bepaald welk percentage van de toen levende zeedierenfamilies is uitgestorven (boven). Duide-lijk is dat er perioden van veel uitstervingen be-staan. Statistische analy-

4. Een doorsnede door een stuk rots uit de Ita-liaanse Apenijnen. Het muntje ligt op een dun laagje sediment dat er is neergedwarfeld in de pe-riode tussen Krijt en Ter-tiair dat ongewoon veel iri-

ses wijzen uit dat die ruw-weg om de 26 miljoen jaar plaatsvonden (grijze lij-nen). Dit patroon kan wor-den gekoppeld aan het aantal meteorietinslagen dat een krater groter dan 10 km achterliet (onder).

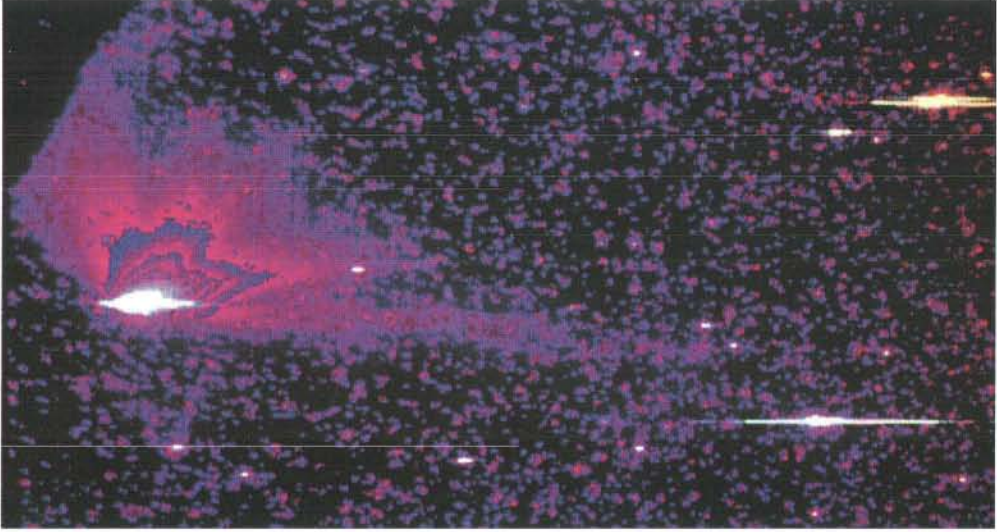
dium bevatte. Omdat het laagje niet van vulkani-sche oorsprong is en bui-ten vulkanisch gesteente vrijwel geen iridium ge-vonden wordt, kan de oor-sprong alleen maar buiten-aards zijn.

5. De komeet van Halley is de meest spraakmakende onder de kometen. Deze opname is bij de laatste passage gemaakt vanaf het ESO-observatorium in La Silla (Chili) met behulp van een CCD-camera die

gevoelig is voor licht met golflengten tussen 500 en 1100 nm (groen tot infra-rood). Op zich is de passa-ge van een komeet niets bijzonders. Aan 'Halley' is echter extra veel aandacht besteed.

4





5

Uit hun bevindingen concludeerden de geologen dat de inslag van een buitenaards object, 65 miljoen jaar geleden, verantwoordelijk was voor het uitsterven van vele soorten op aarde. Dat er inmiddels nog twee andere iridiumrijke lagen zijn gevonden, die wat betreft hun ouderdom samenvallen met andere perioden van verhoogde uitsterfing, vormt een sterke aanwijzing dat planetoïden of kometen ook bij deze catastrofes een rol hebben gespeeld.

Regelmatige massale uitsterfingen

De bewering dat het uitsterven van soorten niet een continu proces is maar steeds in korte perioden plaatsvindt, is een boude. Een stap verder gaat de veronderstelling dat er in de perioden waarin soorten massaal uitstierven een zekere regelmaat te bespeuren valt. In 1984 kwamen twee paleontologen van de Universiteit van Chicago met deze even opmerkelijke als gewaagde hypothese op de proppen. Een kwantitatief, statistisch onderzoek vormde de onderbouwing. Uit een bestand van ongeveer 3500 zeedierenfamilies die in de afgelopen 250 miljoen jaar hebben geleefd, selecteerden zij er 567 waarvan de leefperioden, en dus ook de uitsterfingstijdstippen, nauwkeurig bekend zijn. Nauwkeurig betekent hier dat het uitsterfingstijdstip kon worden bepaald met een onzekerheid van circa zes miljoen jaar.

Vervolgens werd bekeken welk deel van het totale aantal families in een bepaalde periode was uitgestorven. Afbeelding 3 toont de gevonden uitsterfingspercentages uitgezet tegen de tijd. Hierin zijn 12 pieken te onderscheiden. De pieken in het oudste deel van de grafiek zijn overdreven groot omdat naar het heden toe families ontbreken: de leden ervan zijn nog niet uitgestorven. Van de vijf perioden met veel uitsterfingen in de laatste 570 miljoen jaar komen de drie, die in het onderzochte tijdsinterval vallen, duidelijk naar voren. Dit zijn de uitsterfingsperioden aan het eind van het *Perm* (de meest massale voor zover bekend), aan het eind van het *Trias* en aan het eind van het *Krijt* (toen de dinosaurussen uitstierven).

De gegevens zijn met behulp van een computer aan statistische toetsingen onderworpen. Een zogenaamde *nonparametrische test*, leverde op dat de uitsterfingen plaatsvonden met tussentijden van 26 miljoen jaar. De afwijkingen hierin zouden niet meer dan circa vijf miljoen jaar zijn.

Regelmatige inslagen

Nu er niet alleen een verband was gelegd tussen massale uitsterfingen en het inslaan van meteorieten, maar óók aanwijzingen bestonden dat die uitsterfingen met regelmatige tussenpozen op elkaar volgden, ontstond er grote

6. De laatste grote gedocumenteerde botsing tussen de aarde en een meteoriet had plaats in Siberië in 1908. Op een foto uit die tijd zien we de restanten van een bos, dat door de luchtverplaatsing bij de inslag werd geveld.



6

behoefte aan een astronomisch model waarin een mechanisme wordt beschreven dat de aarde eens in de 26 miljoen jaar wordt gebombardeerd met planetoïden of kometen.

Volgens zo'n model moet de ouderdom van inslagkraters op aarde aanwijzingen opleveren voor een periodiciteit bij de inslagen. Onderzoekers van de universiteit van Californië in Berkeley hebben zich op dit onderzoek geworpen. Uit een catalogus waarin van 88 kraters de ouderdom stond vermeld, selecteerden zij er een aantal met een ouderdom tussen 5 en 250 miljoen jaar (de periode waarvan de uitstervingsgegevens voorhanden waren). Bovendien namen zij alleen die kraters, waarvan de ouderdom nauwkeurig, dat wil zeggen binnen een marge van 20 miljoen jaar, kon worden vastgesteld. Vervolgens hebben ze het aantal inslagen uitgezet tegen de tijd. Als zij als extra eis stelden dat alleen grote kraters meetelden leverde dat als resultaat een grafiek zoals te zien is in afbeelding 3. Uit een statistische analyse bleek dat het hier om een regelmatig verschijnsel gaat met een periode van 28 ± 1 miljoen jaar. Opvallend is dat de gevonden cyclus praktisch gelijk loopt met die van 26 ± 5 miljoen jaar van de massale uitstervingen. Een dergelijke overeenkomst betekent een betrouwbaarheidsniveau van 99,9%. De kans dat deze twee perioden door toeval samenhangen is dus 0,1%.

De analyses lieten geen regelmaat zien als ook kleinere kraters (diameter < 5 km) werden meegenomen in de berekening. De verklaring hiervan is dat de grote kraters veroorzaakt zijn door kometen en de kleinere door planetoïden, die in de regel veel kleiner zijn dan kometen. Kennelijk zijn het dus kometen die regelmatig inslaan.

In afbeelding 3 is verder te zien dat er vaak meer dan één krater per cyclus voorkomt. Omdat de bekende kraters maar 10% van het totale aardoppervlak bestrijken (andere kraters bevinden zich op de oceaانبodem of zijn door menselijke activiteiten onzichtbaar geworden) is het waarschijnlijk eerder regel dan uitzondering dat de aarde per cyclus door meerdere kometen wordt getroffen. Uit de spreiding in de ouderdommen blijkt dat zo'n 'regen' van kometen meerdere miljoenen jaren kan aanhouden.

Astronomische modellen

Sterrenkundigen keken met enige scepsis tegen de theorie van de regelmatige uitstervingen aan. Zij konden zich geen enkel mechanisme voorstellen dat een periodiek verschijnsel veroorzaakte, met zo'n grote periode. Na de verrassende bevindingen bij het krateronderzoek liet een aantal van hen zich echter toch inspireren tot het opstellen van hypothesen.

Eén van de geopperde verklaringen is dat de komeetregens te maken hebben met de beweging van de zon door het vlak van de Melkweg. De vrijwel harmonische trillingsbeweging die de zon loodrecht op dit vlak uitvoert heeft een periode van ongeveer 60 miljoen jaar. Dit betekent dat eens in de 30 miljoen jaar de zon (en dus het hele zonnestelsel) het *galactische vlak* doorkruist. Door botsing met gaswolken die in dat vlak voorkomen zou daarbij een aantal van de kometen die zich rond het zonnestelsel bevinden in de richting van de aarde worden verstrooid. Het grootste bezwaar dat tegen dit model kan worden ingebracht is wel dat de zon zich op het ogenblik in het galactische vlak bevindt en dat de laatste uitstervingsperiode pas 13 miljoen jaar geleden viel. Voor dit extreme faseverschil hebben de opstellers van het model nog geen verklaring.

Een zonsbegeleider

In een ander model dat door twee onderzoeksgroepen, een Amerikaanse en één met een duidelijk Nederlandse signatuur, ongeveer tegelijkertijd en onafhankelijk van elkaar werd gepresenteerd, wordt verondersteld dat de zon een begeleider heeft. Deze hypothetische begeleider wordt in latere publikaties veelal aangeduid met de naam *Nemesis*, naar de godin die volgens de Griekse mythologie ten behoeve van de rechtvaardigheid wrekend over de aarde rondtrok. Nemesis zou zich in een zeer wijde elliptische baan rond de zon bewegen. Met de derde wet van Kepler kan worden berekend dat de *halve lange as* van een baan met een periode van 28 miljoen jaar ongeveer 100 000 keer zo groot is als de afstand van de aarde tot de zon, dat wil zeggen 100 000 Astronomische

Komeetbanen

INTERMEZZO

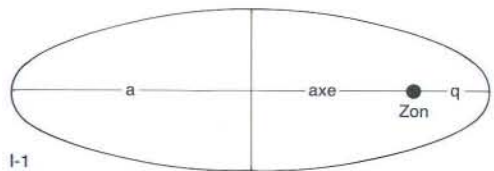
De planeten van ons zonnestelsel bewegen in elliptische banen met de zon in één van de brandpunten (zie afb. I-1). Hetzelfde geldt voor de kometen. Behalve door de omlooptijd, of periode (p), wordt zo'n baan gekarakteriseerd door de halve lange as a en de *excentriciteit* e (het produkt $a \times e$ geeft aan hoever de zon uit het centrum ligt). De kortste afstand van een object tot de zon, de periheliumafstand, wordt aangeduid met q , en er geldt: $e = 1 - q/a$ (1).

Aan het begin van de zeventiende eeuw ontdekte de Duitse sterrenkundige Johannes Kepler dat voor alle planeten de verhouding tussen het kwadraat van de omlooptijd en van de derde macht de halve lange as, gelijk was. De zogenaamde *derde wet van Kepler*, die ook van toepassing is op kometen luidt in formule: $p_1^2/a_1^3 = p_2^2/a_2^3$ (2). Hierin zijn p_1 , a_1 , p_2 en a_2 de omlooptijd en halve lange as van twee willekeurige objecten die rond de zon cirkelen.

Laten we als eerste willekeurige object de aarde nemen. De halve lange as van de baan die de aarde om de zon maakt is 149,6 miljoen kilometer. Sterrenkundigen noemen dit voor het gemak 1 *Astronomische Eenheid* (AE). De periode van de aardbaan is per definitie één jaar. Met de derde wet van Kepler is nu uit te rekenen dat een komeet met een periode van 28 miljoen jaar (het tweede willekeurige object) een halve lange as van ongeveer 100 000 AE moet hebben.

Het aantal kometen dat binnen de aardbaan komt is te berekenen met de formule: $Fe = 1 - e^2$ (3). Hier-

in is Fe het relatieve aantal kometen met een excentriciteit tussen e en 1. Invullen van (1) in (3) levert: $Fe = 2q/a$ (de term q^2/a^2 is verwaarloosd). Om de aarde te treffen moet $q = 1$ AE zijn. Omdat verreweg de meeste kometen in de Oortwolk een halve lange as a van ongeveer 10000 AE hebben, vinden we voor Fe de waarde 0,0002. Het totale aantal kometen in de Oortwolk is naar schatting 10^{13} ; het aantal kometen dat binnen de aardbaan komt is dan gelijk aan twee miljard.



I-1. Schematische weergave van de baan van een willekeurige komeet, planeet of begeleider om de zon en de grootheden die bij het berekenen daarvan van belang zijn.

Eenheden (AE: zie Intermezzo). In zo'n wijde baan is de kans dat Nemesis de banen van planeten in het zonnestelsel zal verstoren klein. Ter vergelijking: Pluto, de buitenste planeet, staat op nog geen 40 AE van de zon.

De invloed van Nemesis kan echter wel gelijk worden gevoeld door kometen. Deze bewegen zich ook vaak in wijde banen om de zon. Daar zij, gehoorzamen aan de tweede wet van Kepler, ver van de zon veel langzamer bewegen dan dicht bij de zon, bevindt zich op een afstand van grofweg 1000 tot 200 000 AE vanaf de zon een ware wolk van dit soort objecten. Deze *Oortwolk*, genoemd naar de Leidse sterrenkundige J.H. Oort die in 1950 het bestaan ervan poneerde, bestaat volgens de meest recente schattingen uit zo'n 10^{13} kometen. Telkens wanneer Nemesis door de Oortwolk gaat, zal een groot aantal kometen worden verstrooid naar het binnenste gedeelte van het zonnestelsel. Een aantal daarvan zal vervolgens de aarde treffen, met alle rampzalige gevolgen vandien.

Een aardig detail van het model is dat vrij eenvoudig een schatting kan worden gemaakt van het aantal kometen dat de aarde zal treffen. Er kan namelijk berekend worden dat van de uit de Oortwolk verstrooide kometen er ongeveer twee miljard binnen de aardbaan komen (zie Intermezzo). De kans dat één van deze kometen de aarde treft, is gelijk aan de geprojecteerde oppervlakte van de aarde gedeeld door de oppervlakte van haar baan om de zon:

1 op 0,63 miljard. Nu is het zo dat kometen gemiddeld vier omwentelingen om de zon doormaken voordat ze smelten in de nabijheid van de zon, inslaan of uit hun baan worden geslingerd. Bij elke omloop heeft de komeet twee kansen om de aarde te raken. Het aantal kometen dat per cyclus van Nemesis de aarde treft is dus ongeveer $(2 \cdot 10^9 \times 1/0,63 \cdot 10^{-9} \times 2 \times 4)$.

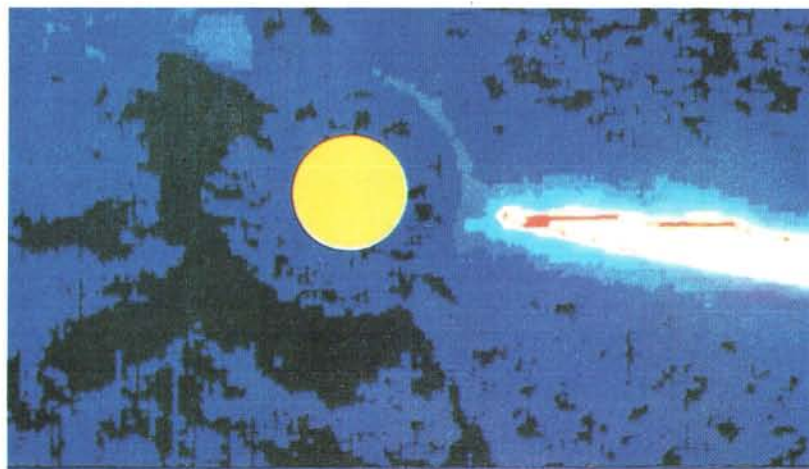
Voor preciezere schattingen is ook de massa van Nemesis van belang. Uit het feit dat de zonsbegeleider nog niet is waargenomen volgt dat het hier wellicht om een *bruine dwerg* gaat. Dit zijn sterren die bijzonder lichtzwak zijn, omdat hun massa te gering is om kernfusieprocessen te laten plaatsvinden. Deze processen zijn verantwoordelijk voor het stralen van de zon en andere sterren.

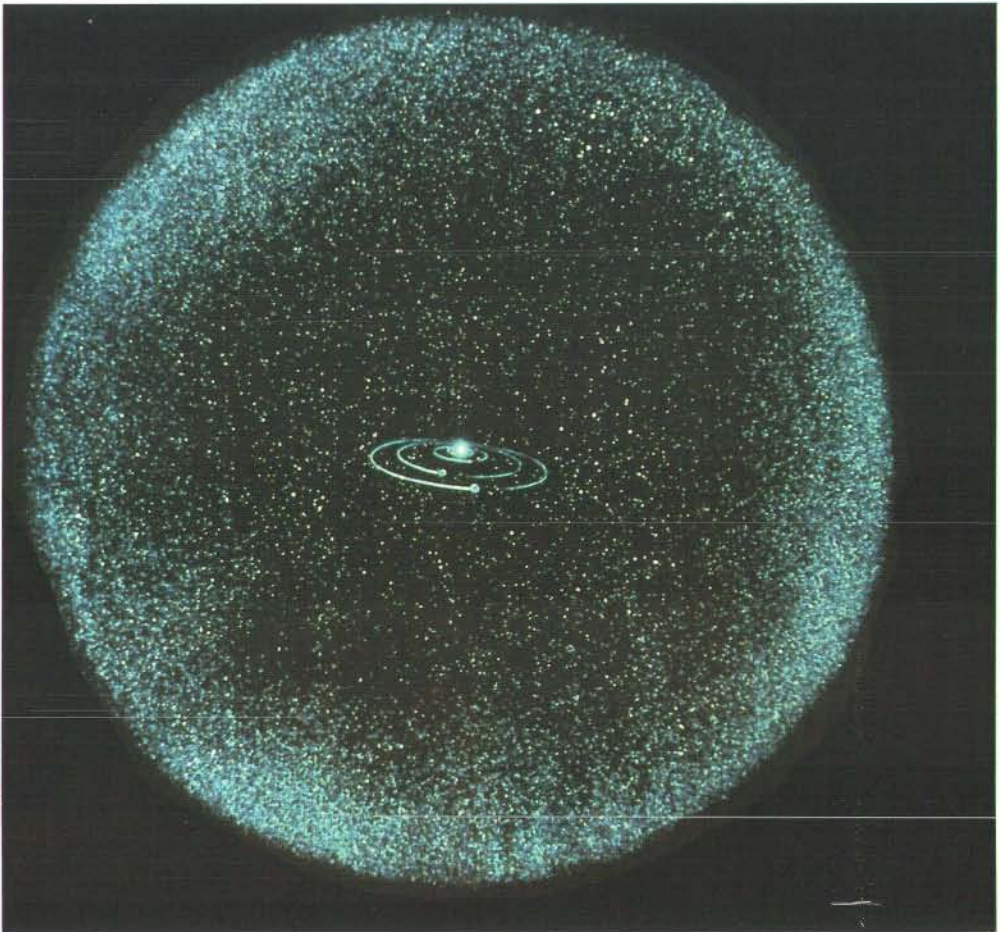
We zijn hier meteen bij het grootste probleem van dit model aangeland: het bestaan van een zonsbegeleider is weliswaar de belangrijkste veronderstelling, maar het opsporen ervan is erg moeilijk. Ook als het een dwergster is waarop wél kernfusie plaatsvindt. In dat geval zullen sterrenkundigen Nemesis op grond van haar bewegingen moeten herkennen uit meer dan één miljoen kandidaten.

Stabiliteit van het Zon-Nemesis model

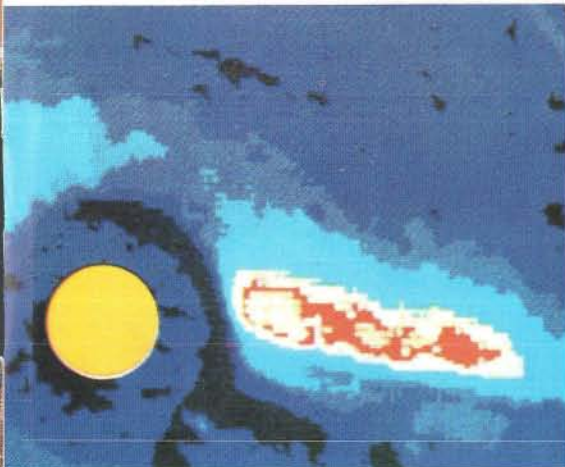
Een ander kritisch punt vormt de stabiliteit van de Zon-Nemesis constructie. Door haar zeer wijde elliptische baan is Nemesis niet sterk aan de zon gebonden en dus erg gevoelig voor

7





8

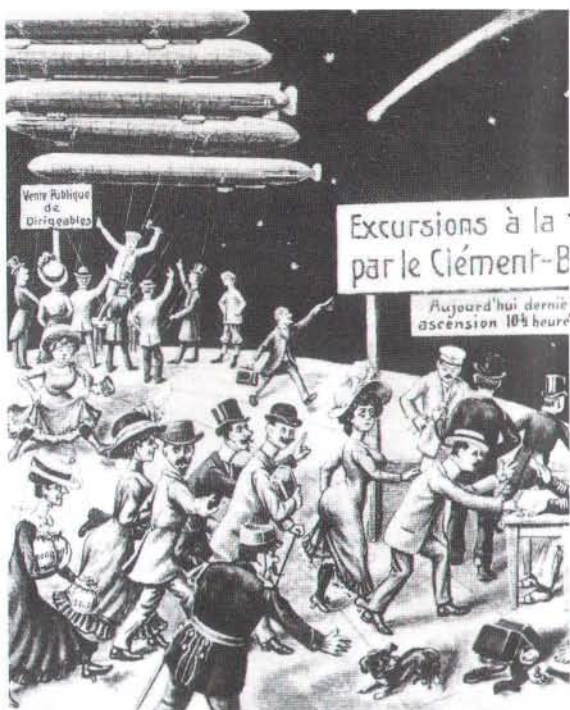


7. De Amerikaanse satelliet Solwind maakte in 1979 deze opnamen van de ondergang van de komeet Howard-Koomen-Michels. Deze kwam in 'aanvaring' met de zon. Voordat de eigenlijke botsing plaatsvond verdampte de komeet (rechts).

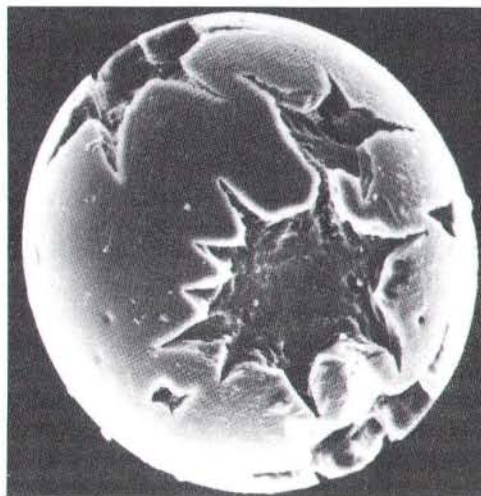
8. De Oortwolk strekt zich op grote afstand uit rond ons zonnestelsel (midden). De Oortwolk bevat grote hoeveelheden kometen, die als het ware in de diepvries liggen te wachten om onder invloed van de zwaartekracht van een passerende ster richting zon te worden gestuurd.

storingen. Storende invloeden kunnen zijn: op grote afstand passerende sterren; de in de melkweg heersende *getijdekrachten* als gevolg van de zwaartekracht van naburige hemellichamen; botsingen met grote gaswolken of de beweging door de spiraalarmen van het melkwegstelsel. De eerste twee spelen altijd een rol. De laatste twee treden daarentegen slechts met tussenpozen van ongeveer 100 miljoen jaar op en zijn daarom voor de geschiedenis van de laatste 250 miljoen jaar van ondergeschikt belang en niet verder onderzocht.

Om het effect van passerende sterren en galactische getijdekrachten te onderzoeken is de baan van Nemesis aan verschillende computersimulaties onderworpen, waarbij steeds de zonsomgeving en de daarin heersende krachten nauwkeurig waren ingebracht. Hieruit bleek dat de baan van Nemesis het minst gestoord wordt wanneer deze in het melkwegvlak ligt. Dit heeft te maken met het feit dat de component van de getijdekrachten loodrecht op het vlak tot een factor 6 groter is dan de component in het vlak. Berekend werd dat de baan van Nemesis onder een hoek van ten



10



9

9. Elektronenmicroscopische opname van een microtektiet. Deze bolvormige en glasachtige structuren worden aangetroffen in de buurt van plaatsen waar meteorieten zijn ingeslagen.

10. Kometen zijn vaak geassocieerd met het einde van de wereld. Op deze Franse prent uit het begin van de eeuw wordt voor twee francs een vluchtweg naar de maan aangeboden.

hoogste 30° met het melkwegvlak mocht staan om niet op de lange duur instabiel te zijn.

Bij de simulaties viel verder nog een tweetal zaken op. Ten eerste bleken de omwentelingstijden van Nemesis te variëren tussen de 23 en 32 miljoen jaar. Statistische methoden die aangewend worden om een regelmaat te ontdekken in zowel uitstervingsdata als kraterouderdommen zullen daarom nooit zeer nauwkeurige waarden kunnen vinden. Een tweede punt dat naar voren kwam was dat er voor de verschillende omwentelingen nogal eens fluctuaties te zien was in de *periheliumafstand*, de kleinste afstand van Nemesis tot de zon. Omdat het aantal kometen dat de aarde treft sterk afhankelijk is van hoe dicht Nemesis de zon benadert, is dit wellicht de verklaring voor het feit dat de ene periode van uitsterving zoveel drastischer was dan de andere.

Benadrukt moet worden dat ook als Nemesis haar baan in het galactische vlak aflegt of onder een kleine hoek daarmee, passerende sterren of gaswolken het dubbelstersysteem instabiel kunnen maken. Sinds de vorming van het zonnestelsel moeten zulke gebeurtenissen



reeds een aantal keren zijn voorgekomen. De gedachte is dan ook dat Nemesis aanvankelijk een veel kleinere en dus stabielere baan had, met een omlooperperiode tussen de één en vijf miljoen jaar. Door storingen van verschillende aard is zij in haar huidige baan gekomen. De verwachting is dat Nemesis binnen een tijdsbestek van ongeveer één miljard jaar tenslotte uit de greep van de zon zal kunnen ontsnappen.

Gevolgen voor de evolutie

Sterren van het type als de zon hebben vaak één of meer begeleiders. Een grote onderlinge afstand zoals tussen de Zon en Nemesis is daarbij niet zeldzaam. Dit maakt het model van de zonsbegeleider heel aannemelijk, al zal Nemesis in de komende jaren natuurlijk wel gevonden moeten worden. Wat echter ook de juiste verklaring moge zijn, de theorie van de periodieke komeetregens heeft verstrekkende gevolgen voor de evolutie. Niet langer kunnen lokale milieufactoren alleen verantwoordelijk worden gehouden voor het waargenomen evo-

lutiebeeld. Massale uitstervingen hebben namelijk een zogenaamd *bottleneck-effect*: door het plotselinge verdwijnen van een groot aantal soorten wordt de evolutie als het ware door een nauwe flessenhals geperst. Het herstel van zo'n grote ramp gaat doorgaans gepaard met fundamentele veranderingen in de soortensamenstelling. Hierdoor kan het verdere verloop van de evolutie ineens een totaal ander aanzien krijgen.

De laatste komeetregen viel ongeveer 13 miljoen jaar geleden. De mens is in de afgelopen 4 miljoen jaar tot ontwikkeling gekomen. Kon dit gebeuren door het wegvallen van concurrenten? Regelmatige massale uitstervingen zouden weleens een vereiste kunnen zijn geweest voor het bereiken van steeds hogere levensvormen op aarde. Als dit inderdaad zo is, dan zou het Zon-Nemesis model inhouden dat de kans dat er elders hoog ontwikkeld leven voorkomt aanzienlijk kleiner is dan werd aangenomen. Niet alleen moet een ster planeten hebben maar ook een kometenwolk en een verre begeleider. Hoe groot de kans op zo'n samenloop is weten we echter niet.

Literatuur

Hut P. How stable is an astronomical clock that can trigger mass extinctions on Earth? *Nature* 1984: 311; 638-641. In *Nature* 1984: 709-720 staat een vijftal zeer goed leesbare artikelen over dit onderwerp.

Bronvermelding illustraties

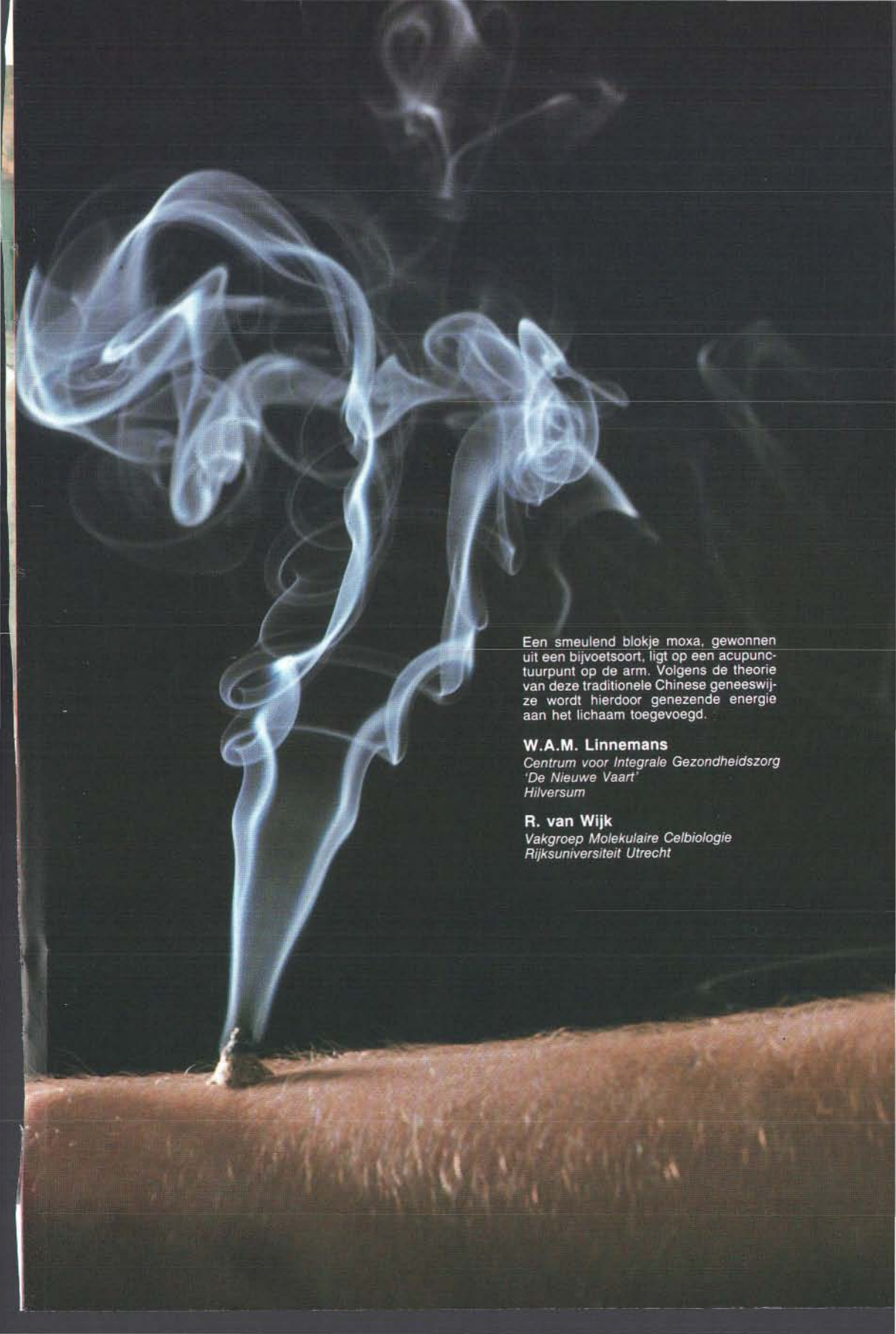
Science Photo Library/Joël, Amsterdam: pag. 342-343, 4.
ABC-press, Amsterdam: 1.
Zeiss Planetarium, Amsterdam: 2, 6, 8.
ESO, Garching: 5, 10.
US Naval Observatory: 7.
Gerta Keller/Princeton University: 9.

HET GROND SYSTEEM

'Alternatieve' geneesmethoden staan sterk in de belangstelling. Jaarlijks wordt in Nederland ongeveer 13 miljoen maal een alternatief therapeut geconsulteerd. Veel mensen vinden er ook baat bij. Het probleem van deze geneeswijzen is echter, dat de effectiviteit van de meeste niet is vastgesteld. Er is bovendien meestal geen goed verklaringsmodel voor de veronderstelde werkzaamheid. De roep om onderzoek is groot, maar het vastgelopen onderzoek aan het Moerlandieet laat zien dat er eigenlijk geen onderzoeksmethode bestaat die voor genezers en sceptici acceptabel is. Ook is het de vraag of de alternatieve geneeswijzen wel toegankelijk zijn voor natuurwetenschappelijk onderzoek. Zijn er mogelijkheden om deze toegang te creëren?

*Basis
voor het toetsen van
geneeswijzen*





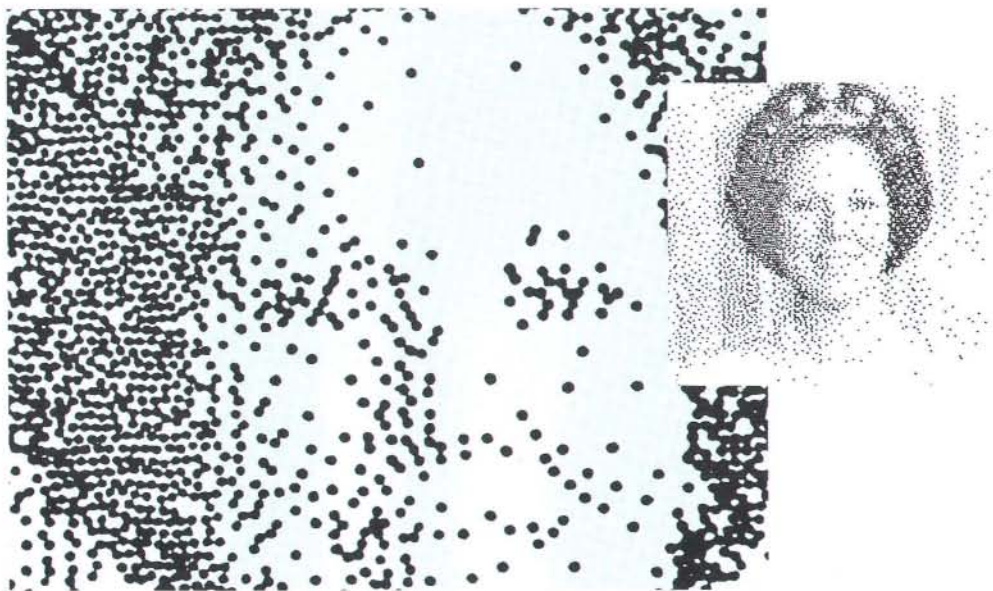
Een smeulend blokje moxa, gewonnen uit een bijvoetsoort, ligt op een acupunctuurpunt op de arm. Volgens de theorie van deze traditionele Chinese geneeswijze wordt hierdoor genezende energie aan het lichaam toegevoegd.

W.A.M. Linnemans

*Centrum voor Integrale Gezondheidszorg
'De Nieuwe Vaart'
Hilversum*

R. van Wijk

*Vakgroep Moleculaire Celbiologie
Rijksuniversiteit Utrecht*



1

Er zijn op dit moment meer dan 200 verschillende therapieën bekend, die sterk kunnen variëren wat betreft benadering, achterliggende filosofie, verondersteld aangrijpingspunt op het organisme, enzovoorts. Eén van de verschillen met de reguliere geneeskunde is dat alternatieve geneeswijzen niet gemakkelijk natuurwetenschappelijk te begrijpen zijn. Veel mensen beschouwen ze dan ook als een vorm van bijgeloof of zelfs bedrog. Daar tegenover staan de ervaringen van patiënten die er wel degelijk baat bij vinden. Willen we de werkzaamheid van zoveel mogelijk geneeswijzen op één en dezelfde manier kunnen evalueren, dan hebben we een onderzoeksmethode nodig, waarbij enerzijds de geneeswijze wordt geaccepteerd zoals ze is, terwijl anderzijds de natuurwetenschappelijke methode om een probleem aan te pakken geen geweld mag worden aangedaan.

Dit lijkt een onmogelijke opgave, omdat de uitgangspunten van de natuurwetenschappen en de alternatieve geneeswijzen recht tegenover elkaar lijken te staan. Het natuurwetenschappelijk denken wordt *reductionistisch* genoemd, terwijl de alternatieven lijken te zweven bij het *holisme*. Reductionisten ontleden een probleem in allerlei deelproblemen, die diepgaand geanalyseerd worden. Zij hebben

doorgaans weinig oog voor de verbanden tussen die deelproblemen. Holisten bekijken echter het geheel en hebben nauwelijks oog voor deelaspecten.

Aan de hand van een voorbeeld is dit te verduidelijken. Een krantefoto van een gezicht bestaat uit duizenden kleine stipjes. Een reductionist zal de foto onder een vergrootglas leggen, zodat hij de grootte en verdeling van de afzonderlijke stippen kan bestuderen. Hoe nauwkeurig hij ook naar de afzonderlijke stippen kijkt, een gezicht zal hij er niet in zien. De holist gooit het vergrootglas weg, bekijkt de foto van een afstand en ziet onmiddellijk het gezicht. Hem ontgaat echter dat dat gezicht in feite uit een verzameling stippen bestaat. Dit voorbeeld maakt duidelijk dat beide denkmodellen slechts een bepaalde benadering van de werkelijkheid bieden. Wel is het denkbaar dat beide elkaar kunnen aanvullen.

Uitgangspunten voor onderzoek

In de natuurwetenschappelijke methode spelen metingen een belangrijke rol. Aan de hand van waargenomen verschijnselen stelt men een verklaringsmodel (hypothese) op, om dat te toetsen met behulp van metingen. Wanneer we een geneeswijze op natuurwetenschappelijke wijze

willen onderzoeken zullen we moeten vaststellen welke elementen van het begrip gezondheid meetbaar zijn.

De Wereld Gezondheidsorganisatie (WHO) definieert gezondheid als: 'een toestand van volledig fysiek, mentaal en sociaal welbevinden en niet slechts de afwezigheid van ziekte en onvermogen.' Iemand heeft een maximaal welbevinden, is dus gezond, wanneer zijn of haar wisselwerking met een veelheid aan factoren uit de omgeving optimaal is. Dit slaat per definitie op de totale persoon in al zijn facetten. In een gezonde persoon zal bijvoorbeeld de wisselwerking tussen de organen goed zijn, maar ook die met de omgeving; stress op het werk bijvoorbeeld maakt veel mensen ziek. Dit patroon van wisselwerkingen noemen we het *interactieve vermogen* van een persoon.

We kunnen nu de elementen van het interactieve vermogen op allerlei niveaus onderzoeken. Ieder gegeven zegt dan iets over deel-

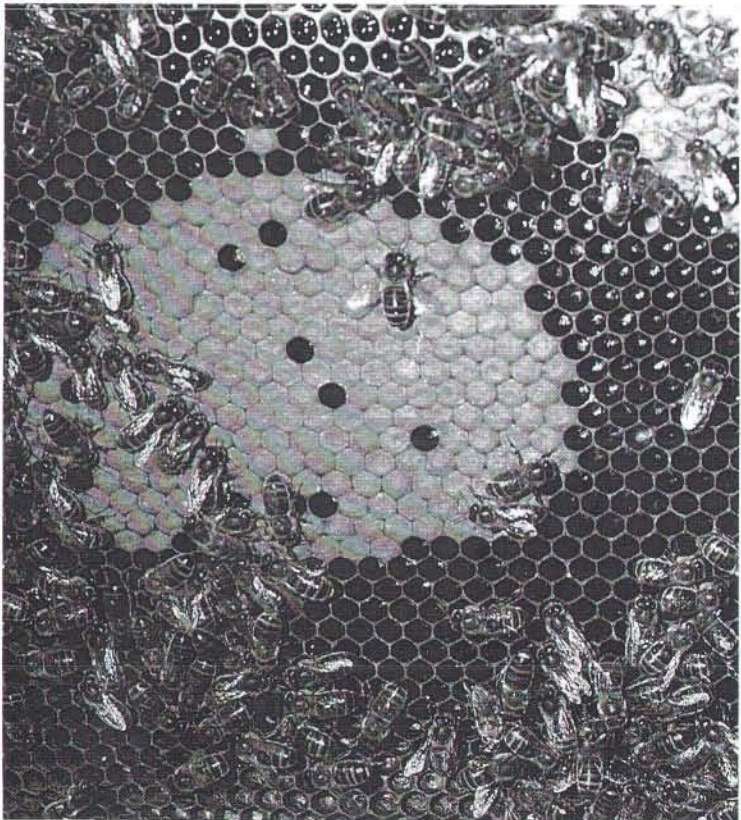
aspecten van de gezondheidstoestand van de betrokkene. Hier schuilt echter een addertje onder het gras. Door reductie en analyse hebben we een probleem opgesplitst in overzichtelijke onderdelen. Het zal ons echter nooit lukken om hieruit een betrouwbaar beeld van het totale systeem te reconstrueren. We moeten daarom die elementen van een systeem opsporen, die bepalend zijn voor het interactieve vermogen van het geheel.

Ieder systeem, of het nu een cel, een orgaan of een organisme is, bestaat uit een groot aantal verschillende elementen of subsystemen, die ieder hun specifieke eigenschappen bezitten. Al die elementen zijn ooit in een bepaalde samenhang terechtgekomen. Elk element is bijvoorbeeld duidelijk gelokaliseerd. Cellen zijn omgeven door een membraan waardoor ze duidelijk van andere cellen te onderscheiden zijn; organismen als de mens worden afgegrensd van de buitenwereld door de huid

1. Het verschil tussen een holistische en een reductionistische benadering van een probleem. Bij een grote vergroting zien we een groot aantal punten, die afzonderlijk beschouwd geen portret van koningin Beatrix bevatten. Dat portret komt pas te voorschijn als we het puntenpatroon van een afstand bekijken of verkleinen.

2. Een systeem en zijn subsystemen, ofwel een organisme en zijn organen. Levende organismen kan men zien als een systeem. Ook een bijenvolk is op te vatten als een systeem, of, zo u wilt, een 'organisme', waarvan de individuele bijen de 'cellen en weefsels' zijn. Als voortplantingsorganen dienen de koningin, de darren en de broedverzorgende werksters. Groepen werksters die voor het inzamelen en verwerken van voedsel zorgen, werken als verterings- en uitscheidingsorgaan. Andere werksters zorgen voor de verdediging en zijn op te vatten als een 'immuunsysteem'. De manier waarop een systeem wordt bekeken, is bepalend voor de interpretatie ervan.

2



(*compartmentalisatie*). Daarnaast vertonen al die 'hokjes' niet alleen een samenhang in de ruimte (*cohesie*, bijvoorbeeld de samenhang tussen longen en bloedsomloop), ook hun gedragingen zijn op elkaar hebben afgestemd. Ze vertonen dus ook een duidelijke samenhang in de tijd (*coherentie*). Het gevolg is dat alle processen binnen een systeem op het juiste moment en op de juiste plaats gebeuren.

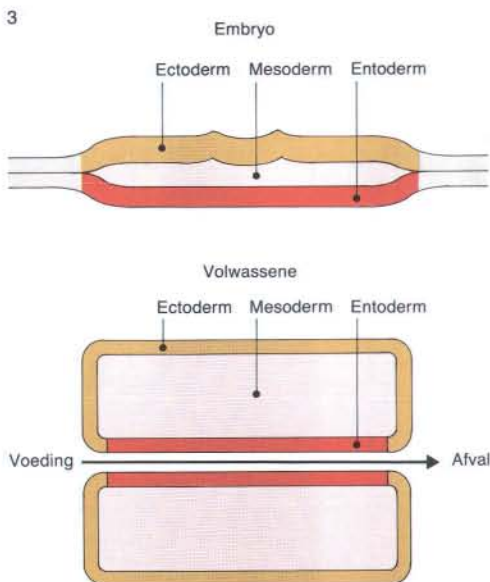
Binnen een systeem bestaat een uitgebreid patroon van interacties tussen de vele subsystemen. Dit *interactiepatroon* wordt mogelijk gemaakt door het communicatieve vermogen van ieder subsysteem. Dit is een belangrijke eigenschap, die alle levende (sub)systemen met elkaar delen.

Vanaf een zeker moment in de ontwikkeling van een systeem zien we dat, door een steeds verfijnder wordend interactiepatroon, de afzonderlijke subsystemen gaan samenwerken (*synergisme*). Dit uit zich in een duidelijke taakverdeling waar de betreffende subsystemen zich aan onderwerpen (*differentiatie*). Vanaf het moment dat het laatste duidelijk zijn beslag heeft gekregen, kunnen we spreken een nieuw systeem (afb. 2).

Elk systeem heeft dus karakteristieke eigenschappen die het gevolg zijn van de interacties tussen zijn individuele subsystemen. Dit betekent dat de eigenschappen van de verschillende

subsystemen weliswaar hebben bepaald welk interactiepatroon heeft kunnen ontstaan, maar dat ze niet karakteristiek zijn voor het systeem als eenheid. Met andere woorden: niet de subsystemen zelf, maar hun communicatieve vermogen is bepalend voor de aard van hun samenspel. Ieder subsysteem kan worden vervangen door een ander met andere karakteristieken, zolang het nieuwe maar volkomen past in het interactiepatroon. Concreet: het vervangen van een hart door een kunsthart zou theoretisch mogelijk moeten zijn zonder het interactiepatroon te verstoren.

Terugblikkend kunnen we zeggen dat we eerst de gezondheid van een levend systeem omschreven als diens optimale interactieve vermogen. Vervolgens hebben we laten zien dat dit interactieve vermogen een afgeleide is van het samenspel tussen de samenstellende elementen. De volgende stap is dat we al onze reductionistische kennis nu kunnen gaan aanwenden binnen een bepaald holistisch concept. Het is dus onnodig om op zoek te gaan naar 'een andere of nieuwe wetenschap', zoals men vaak kan lezen. Een volgende en voorlopig laatste stap, die we moeten maken, is het vinden van eenvoudig meetbare factoren, waarvan het interactiepatroon, en dus ook het interactieve vermogen, afhankelijk is. We gaan daarvoor te rade bij de embryologie.



3. Het patroon van de drie kiembladen (ectoderm, entoderm en mesoderm), dat in betrekkelijk jonge zoogdierembryo's te onderscheiden is, is terug te vinden in het uiterst schematisch weergegeven, volwassen organisme.

4 en 5. Hoewel de werking van geneeskrachtige kruiden bekend is, wordt kruidengeneeskunde door velen met argwaan bezien. Kamille (4) geldt als ontstekingsremmer, valerianawortel (5) werkt kalmerend. Hier ligt een overgang tussen 'alternatieve' en 'reguliere' geneeswijzen, omdat veel 'reguliere' geneesmiddelen stoffen bevatten die zijn ontleend aan geneeskrachtige kruiden.

6. In verschillende culturen wordt vanuit verschillende filosofieën tegen de mens en zijn ziekten aangekeken. Menige geneeswijze is gebaseerd op voor westerlingen soms moeilijk te doorgronden gedachten. Toch staat het nuttige effect van sommige benaderingen als een paal boven water. Acupunctuur bijvoorbeeld is de basis van de traditionele Chinese geneeskunde.



6

5



Het grondstelsel

We kunnen op een gegeven moment in de ontwikkeling van een embryo de drie kiembladen *ectoderm*, *mesoderm* en *entoderm* onderscheiden (afb. 3a). Uit het buitenste kiemblad, het *ectoderm*, ontstaan onder andere het zenuwstelsel, de zintuigen, armen en benen, huid en haar. Het *entoderm*, dat het meest naar binnen ligt, levert het spijsverteringssysteem, de afvalverwerkende organen, het ademhalingsstelsel en de belangrijke hormoonklieren. Tussen deze twee kiembladen in ligt het *mesoderm*. Dit kiemblad is de oorsprong van spieren en skelet, bindweefsels, bloed, lymfe en het grootste deel van het immuunsysteem.

In het volwassen organisme kunnen we grofweg nog hetzelfde bouwplan terugvinden (afb. 3b). Het lichaam wordt van de buitenwereld afgesloten door de huid, terwijl de zintuigen

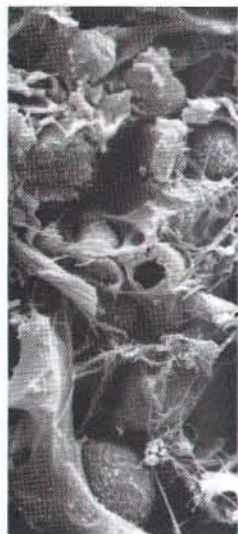
de goed gecontroleerde contacten met diezelfde buitenwereld onderhouden. Al deze weefsels en organen zijn ontstaan uit het ectoderm. Zuurstof en voedingsstoffen worden opgenomen en verwerkt door structuren uit het entoderm (ademhaling en spijsvertering), terwijl de verwerkingsprodukten eveneens verwerkt worden door van het entoderm afkomstige structuren. De weefsels en organen van mesodermale afkomst verzorgen stevigheid (skelet), beweeglijkheid (spieren), verdeling van 'goederen' (bloed en lymfe), verdediging (immuunsysteem) en wondheling en regeneratie (mesenchym).

In dit geheel neemt het *mesenchym* een bijzondere plaats in. Het is al vroeg in de ontwikkeling van het mesoderm afgescheiden en het blijft functioneel aanwezig tot aan het einde van het leven. In het volwassen lichaam wordt dit mesenchym *zacht bindweefsel* genoemd (afb. 7). Geen van de structuren van ecto- of entodermale afkomst kan zich ontwikkelen zonder de invloeden van het mesenchym. Dat geldt niet alleen tijdens de embryonale ontwikkeling. In het volwassen lichaam is regeneratie, het herstel van een structuur na een ernstige beschadiging, niet mogelijk, als er geen goed functionerend zacht bindweefsel ter plekke aanwezig is.

Zacht bindweefsel vormt een uitgebreid en aaneengesloten netwerk door het gehele lichaam. Nagenoeg alle lichaamscellen staan ermee in direct contact. De haarvaten en lymfecaillairen liggen in dit weefsel ingebed. Alle aan- en afvoer van stoffen naar cellen moet dit systeem passeren. Het weefsel is rijk aan ongepecialiseerde cellen, zoals fibroblasten. Deze kunnen in een veelheid van gespecialiseerde celtypen overgaan en ze zijn van wezenlijk belang voor herstelprocessen. Tenslotte bevat zacht bindweefsel de uiteinden van onwillekeurige (*vegetatieve*) zenuwen. Het systeem staat daardoor onder invloed van het zenuwstelsel, maar kan op zijn beurt ook het vegetatieve zenuwstelsel beïnvloeden.

Dit weefselsysteem maakt dus al vanaf vroeg in de ontwikkeling samenhang en communicatie tussen alle andere systemen van het organisme mogelijk. De vele celtypen in weefsels en organen kunnen zich als één geheel gedragen, omdat het systeem van het zachte bindweefsel een fijnzinnig interactiepatroon mogelijk maakt. In dit systeem is in feite het

7 en 8. Zacht (7) en hard (8) bindweefsel komen in heel het lichaam voor. Hard bindweefsel heeft vooral een structurele functie; in bijvoorbeeld pezen draagt het met been en kraakbeen bij aan de stevigheid van het lichaam. Dat kan men zich gezien de vezelachtige structuur gemakkelijk voorstellen. Zacht bindweefsel heeft duidelijk een veel lossere structuur.



7

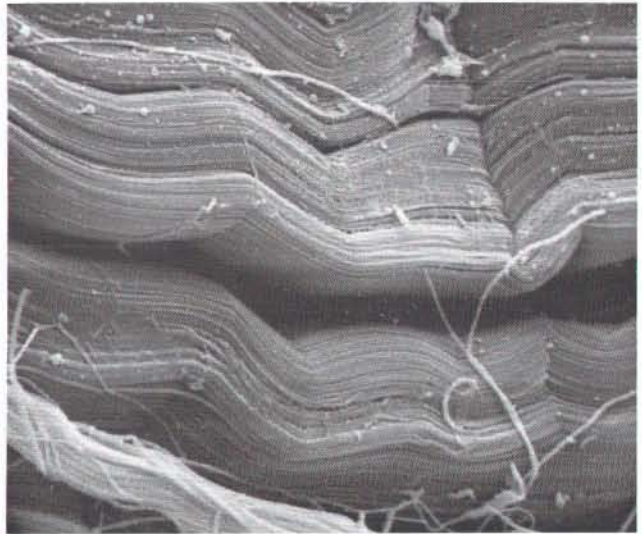
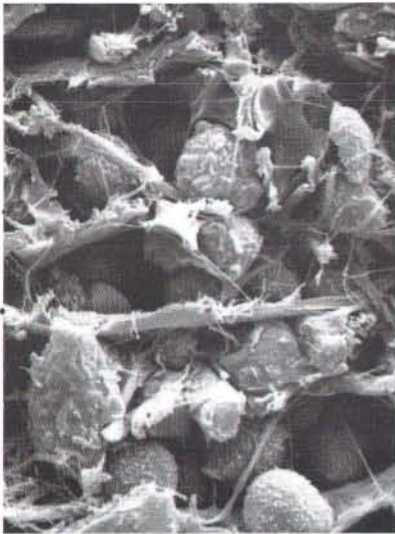
interactieve vermogen van het organisme vastgelegd. We noemen het daarom het *grondsysteem*.

Binnen dit grondstelsel kunnen we nu op zoek gaan naar de factoren die het interactiepatroon en daarmee het interactief vermogen doorslaggevend kunnen beïnvloeden.

Respons

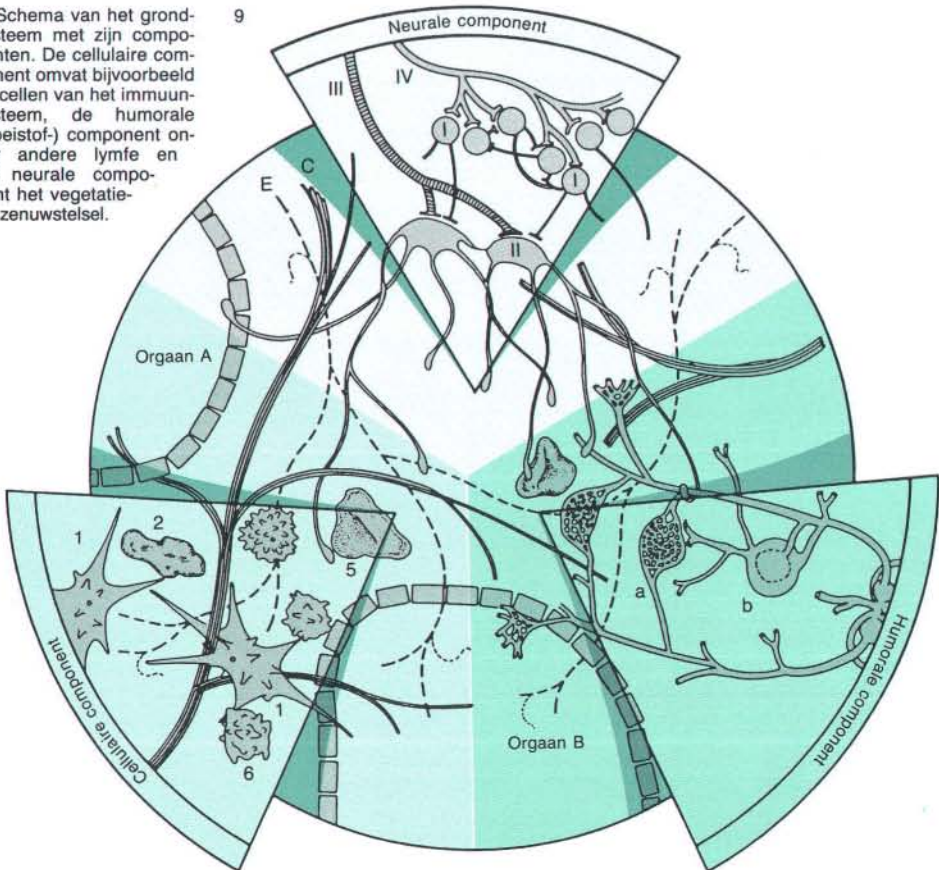
Het interactieve vermogen van een organisme vloeit, zoals we al zagen, voort uit het interactiepatroon van de samenstellende subsystemen. Dit interactiepatroon is in feite een netwerk van op elkaar afgestemde regelsystemen. Binnen deze regelsystemen kunnen we vervolgens meetbare factoren (*interactieparameters*) zoeken die bepalend zijn voor het interactiepatroon. We kunnen verwachten, dat we een deel van de door ons gezochte interactieparameters in het grondstelsel kunnen vinden.

De interactieparameters zijn in feite karakteristieke grootheden van regulerende systemen, zoals de pH van bloed of urine, de lichaamstemperatuur of de elektrische huidweerstand. Regulatie kunnen we het best onderzoeken door een prikkel van een bekende en liefst zo gering mogelijke sterkte (input) aan het systeem toe te dienen, waarna we meten hoe het systeem hierop reageert (output). Zodoende komen we veel te weten over de *gevoe-*



8

9. Schema van het grond-systeem met zijn componenten. De cellulaire component omvat bijvoorbeeld de cellen van het immuunsysteem, de humorale (vloeistof-) component onder andere lymfe en de neurale component het vegetatieve zenuwstelsel.



ligheid, de minimale prikkeling die een reactie teweegbrengt; de *elasticiteit*, het scala aan prikkels dat verwerkt kan worden; de *reactiesnelheid*, de tijd tussen prikkel en reactie en de *capaciteit*, de maximale prikkelduur en -sterkte die een regelsysteem kan verdragen. Men heeft een goed interactief vermogen wanneer een kenmerkend regelsysteem niet te gevoelig of star is, prikkels aankan met een normale natuurlijke spreiding en niet te snel uitgeput raakt. In feite zijn de nu zo populaire fitness-tests op dit principe gebaseerd.

Een regelend systeem heeft bovendien een karakteristieke tijdsresponscurve, die aangeeft hoe de reactie op een prikkel in de tijd verloopt. Deze kan bij ziekte aanmerkelijk anders gaan verlopen (afb. I-2). Er bestaan veel aanwijzingen dat bij zowel acute als chronische aandoeningen de karakteristieken van de re-

gelmechanismen van het grondstelsel afwijken van de norm en dat deze bij een effectieve behandeling verschuiven in de richting van de gezonde situatie.

In het grondstelsel zijn een cellulaire, een humorale en een (vegetatief) neurale component te onderscheiden (zie voor details afb. 9). De respons op een prikkel volgt bij de eerste twee meestal na enkele uren, terwijl de neurale component reeds binnen enkele minuten reageert.

Een voorbeeld van een respons die wordt opgeroepen via de neurale component van het grondstelsel is het blozen of het uitbreken van zweet bij een (on)aangename gedachte. Deze prikkel komt door het vegetatieve zenuwstelsel in het zachte onderhuidse bindweefsel en de daaraan grenzende huid. Omdat dergelijke responsen snel kunnen worden opgeroe-

Bio-elektrische regulatiediagnostiek

Bij de bio-elektrische regulatiediagnostiek worden de elektrische eigenschappen van de huid gemeten. Hierbij schenkt men aandacht aan van binnen uit het lichaam komende *endosomatische* en van buiten het lichaam komende *exosomatische* parameters. De belangrijkste endosomatische parameter is de gemiddelde eigenpotentiala van de huid en diens natuurlijke fluctuaties. De biologische processen, die hieraan te grondslag liggen, zijn veelvuldig onderzocht en het gangbare verklaringsmodel is reeds in 1974 opgesteld door Fowles.

Vele prikkels kunnen het potentiaalniveau van de huid beïnvloeden. De relatie tussen de prikkel en de verandering van de potentiaal geeft een indruk van de mate waarin het systeem reguleerbaar is. Exosomatische parameters meet men met behulp van een elektrische stroom, zoals bij de huidweerstandsmetingen (afb. I-2). De grootte van de elektrische huidweerstand wordt voornamelijk bepaald door de vochtafscheiding (zweet), hetgeen een zeer complex, autonoom gereguleerd proces is. De mate waarin wij zweeten geeft vermoedelijk een indruk van het functioneren van het grondstelsel. De huidweerstand hangt voor een deel samen met de eigenpotentiala van de huid en vaak worden beide tegelijk gemeten.

Drie meetmethoden worden op het ogenblik veelvuldig toegepast en getoetst op hun diagnostische waarde:

- De *elektro-acupunctuur* volgens Voll (EAV). Hier worden metingen uitgevoerd op punten in de



I-1

I-1. De veranderingen van de potentiaal en de elektrische weerstand van speciale plaatsen op de huid, in dit geval punten onder de nagelhoeken, kunnen een indruk geven van iemands gezondheid. De meetmethode wordt EAV genoemd.

I-2. De resultaten van impulsdermatografie leveren duidelijke verschillen op tussen mensen die gezond zijn (boven) en mensen die dat niet zijn (onder). In groen zijn registraties aangegeven voor de prikkeling, in rood registraties daarna.

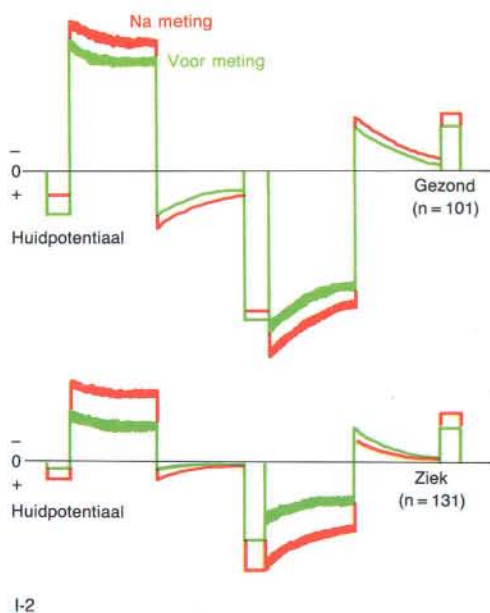
pen en betrekkelijk eenvoudig meetbaar zijn, ligt het voor de hand om juist de respons van de neurale component te gaan gebruiken voor het meten van de door ons gezochte interactieparameters.

In de afgelopen decennia zijn daartoe diverse meetmethoden ontworpen. Zo kennen we de *thermoregulatiediagnostiek*, waarbij de respons van het warmteregulatiesysteem van de huid op een kleine thermische prikkel - een hand enige ogenblikken in koud water houden - met behulp van thermokoppels of infrarood-videoapparatuur wordt vastgesteld. Een ander voorbeeld is het meten van veranderingen van het elektrisch geleidingsvermogen van de huid, na blootstelling aan één of andere fysiologische prikkel. Een variant op deze methode is al lang bekend als de polygraaf of leugendetector. In alle gevallen worden de eigenschappen

van de huid op nauwkeurig gelokaliseerde punten gemeten, vervolgens wordt een prikkel toegediend, waarna op verschillende tijdstippen de metingen worden herhaald. Het uitzetten van de meetwaarde tegen de tijd geeft de respons, welke op een normaal of afwijkend warmteregulatiepatroon kan wijzen (zie Intermezzo hieronder).

Op die manier zijn er steeds meer aanwijzingen verkregen, dat met behulp van deze meetmethoden het effect van een behandeling snel en objectief kan worden vastgesteld. Zo hebben Van Wijk en Wiegant vorig jaar, in een uitgekiend onderzoeksprotocol gegevens verzameld, die erop duiden dat medicamenten in een homeopathische verdunning aantoonbare, persoonspecifieke veranderingen in de elektrische karakteristieken van de huid kunnen veroorzaken.

INTERMEZZO

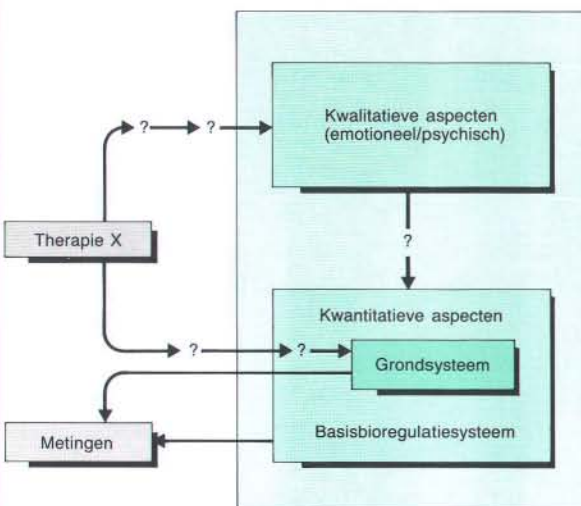


huid, die vaak overeenkomen met de al eeuwen bekende acupunctuurpunten. Indien men ervoor zorgt dat de druk waarmee de elektrode op het punt wordt gehouden altijd gelijk is, kan men, zo laat het zich steeds duidelijker aanzien, de meetwaarden voor diagnostische doeleinden gebruiken (afb. 1-1).

— De segmentelektrografie (SEG). Hier meet en vergelijkt men na prikkeling de huidpotentiaal- en huidweerstandrespons van delen van de huid die door dezelfde zenuw beïnvloed worden.

— De impulsdermatografie (ID). Dit is in wezen een vereenvoudigde SEG-meting. Hier vergelijkt men na prikkeling de huidpotentiaal- en huidweerstandrespons tussen grote lichaamsgebieden (hoofdhand-voet, links en rechts) (afb. 1-2). Zowel bij de SEG als de ID kan men een indruk verkrijgen van het algehele interactieve vermogen van het organisme alsmede van het voorkomen van lokale storingen hierin. Door de metingen voor en na behandeling uit te voeren, kan men vrij snel zien of er een effect is. Deze methoden zijn veelbelovend, omdat ze bij veel geneesmethoden inzetbaar zijn vanwege hun erg grote gevoeligheid. Het probleem is echter, dat ze nog onvoldoende gevalideerd zijn. Hieraan wordt momenteel gewerkt binnen de werkgroep Biologische en Natuurlijke Geneesmethoden van de RU Utrecht.

Dr F.A.C. Wiegant
Vakgroep Moleculaire Celbiologie
Rijksuniversiteit Utrecht



10

We mogen gaan vermoeden dat onze veronderstellingen juist zijn, meer niet! Er is echter nog veel onderzoek nodig om dit vermoeden voldoende 'hard' te maken. Zo is er te weinig bekend over de normwaarden, over fluctuaties van deze waarden gedurende de dag (circadiaanse ritme) en gedurende het jaar (seizoensinvloeden), en de leeftijds- en geslachtsafhankelijke variaties. Daarnaast zijn betrouwbare correlaties tussen goed beschreven aandoeningen (bijvoorbeeld reuma) en de te meten variabelen nog maar weinig beschreven. Kortom, de 'validering' van dit soort diagnostieken laat nog veel te wensen over.

Besluit

Een aantal regulatiekarakteristieken van het 'holistische' grondsysteem kan dienen voor het vaststellen van het interactieve vermogen van een organisme. Dit betekent dat in geval van behandeling bij ziekte we al in een vrij vroeg stadium kunnen vaststellen of het interactieve vermogen van een patiënt aan het verbeteren is. Als dit het geval is, mag men veronderstellen dat de behandelmethode effectief is. Het maakt in eerste instantie niet zoveel uit of dit het gevolg is van een 'reguliere' medicatie, een verandering van leefwijze, suggestie, placebo, acupunctuur, homeopathie, de prettige aandacht van een arts, een goed gesprek of joggen. Waar het om gaat is dat het interactieve

vermogen van de patiënt in objectieve zin is verbeterd, de patiënt zich inderdaad gezonder gaat voelen en dat de therapie in een vroeg stadium kan worden bijgestuurd op basis van dit soort metingen.

We hebben nu de mogelijkheid om vergelijkend effectiviteitsonderzoek uit te voeren. Zo kunnen we de resultaten van een behandeling, waarbij bewust gebruik wordt gemaakt van een placebo, vergelijken met die van een behandeling waar krachtig op het organisme wordt ingegrepen met een sterk werkend geneesmiddel met bijwerkingen. Deze benadering van het probleem maakt het mogelijk om de effectiviteit van geneesmethoden te evalueren zonder in de knoop te raken met de soms ietwat vreemde therapie-eigen elementen. We zijn hierin niet geïnteresseerd, omdat we alleen

10. Schema van het basisbioregulatiesysteem. In dit systeem worden in feite alle factoren die de reactie van een mens op prikkels uit de omgeving bepalen in hun onderlinge samenhang geplaatst.

11. Mensen kunnen voor hun kwalen kiezen uit vele remedies. Voor sommige bestaat een natuurwetenschappelijke verklaring, voor andere niet. Dat wil niet zeggen dat modderbaden, kruidenkuren, homeopathie of welke andere geneeswijze dan ook bij voorbaat als waardeloos kan worden afgedaan. Onderzoek via de invalshoek van het basisbioregulatiesysteem biedt de mogelijkheid om in deze het kaf van het koren te scheiden.

11



willen weten hoe het met het interactieve vermogen van de patiënt is gesteld.

In tweede instantie is het van belang dat kan worden verklaard hoe de geneesmethode werkt. Voor een aantal aandoeningen en therapieën biedt het concept van het grondstelsel aantrekkelijke mogelijkheden om tot een fundamentele verklaring te komen. In het kader van dit verhaal voert het te ver om hier dieper op in te gaan. Volstaan wordt met te stellen, dat verklaringen voor de Moermanmethode en vergelijkbare andere geneeswijzen, moeten worden gezocht in dit stelsel.

Er blijft echter nog een grote groep aandoeningen en therapieën over, waarvoor de verklaringsmogelijkheden met behulp van het grondstelsel te gering zijn. Zo kunnen het ontstaan van een maagzweer of het er slecht

uitzien van de zorgen, de invloed van verdriet en angst op de lichamelijke gezondheid, de werking van 'geloof' in een behandeling in positieve en negatieve zin, de werking van acupunctuur en homeopathie en het lichamelijke heilzame van een geslaagde psychotherapie nog steeds niet worden verklaard. Daarom wordt er door biologen en fysici in Nederland, Duitsland, België, Frankrijk, Engeland, India en de Verenigde Staten naarstig gewerkt aan een verbeterd concept. Wij noemen dit het concept van het basisbioregulatiesysteem. Het grondstelsel maakt hier deel van uit en is onderworpen aan supraregulatie (afb. 10). In theorie kan dit systeem reageren op bijzonder laag-energetische prikkels van voornamelijk elektromagnetische aard.

Door te zoeken naar verklaringsmoedellen voor alternatieve geneesmethoden, die 'niet kunnen werken', aanvaardt de biomedisch onderzoeker een inspirerende uitdaging. De geschiedenis van de natuurwetenschappen leert, dat dit niet alleen gunstig is voor de zieke mens. Het voert het biologisch onderzoek over grenzen, naar nieuwe en onverwachte gebieden van kennis en inzicht. Het is onze hoop, dat het concept van het basisbioregulatiesysteem hieraan een positieve bijdrage levert.

Literatuur

- Aakster CW, van Dijk P, van Wijk R (red.) Inleiding tot de Integrale Geneeskunde. Groningen: Wolters Noordhof, 1988.
- Van Wijk R et al. Areolar tissue, morphogenesis and molecular aspects. *Experientia*, in press.
- Wiegant FAC (red.) Directe reacties van organismen op homeopathische potenties; een literatuurstudie. Alkmaar: VSM, 1986.
- Van Wijk R, Wiegant FAC. Druk-geïnduceerde veranderingen van huidweerstand en de invloed van homeopathische middelen. Alkmaar: VSM, 1988.
- Een zeer leesbaar stuk over holisme en reductionisme staat in: Davis P. God in de nieuwe natuurkunde. Utrecht: Veen, 1984.
- Gedetailleerde literatuurverwijzingen zijn aan te vragen bij de auteurs.

Bronvermelding illustraties

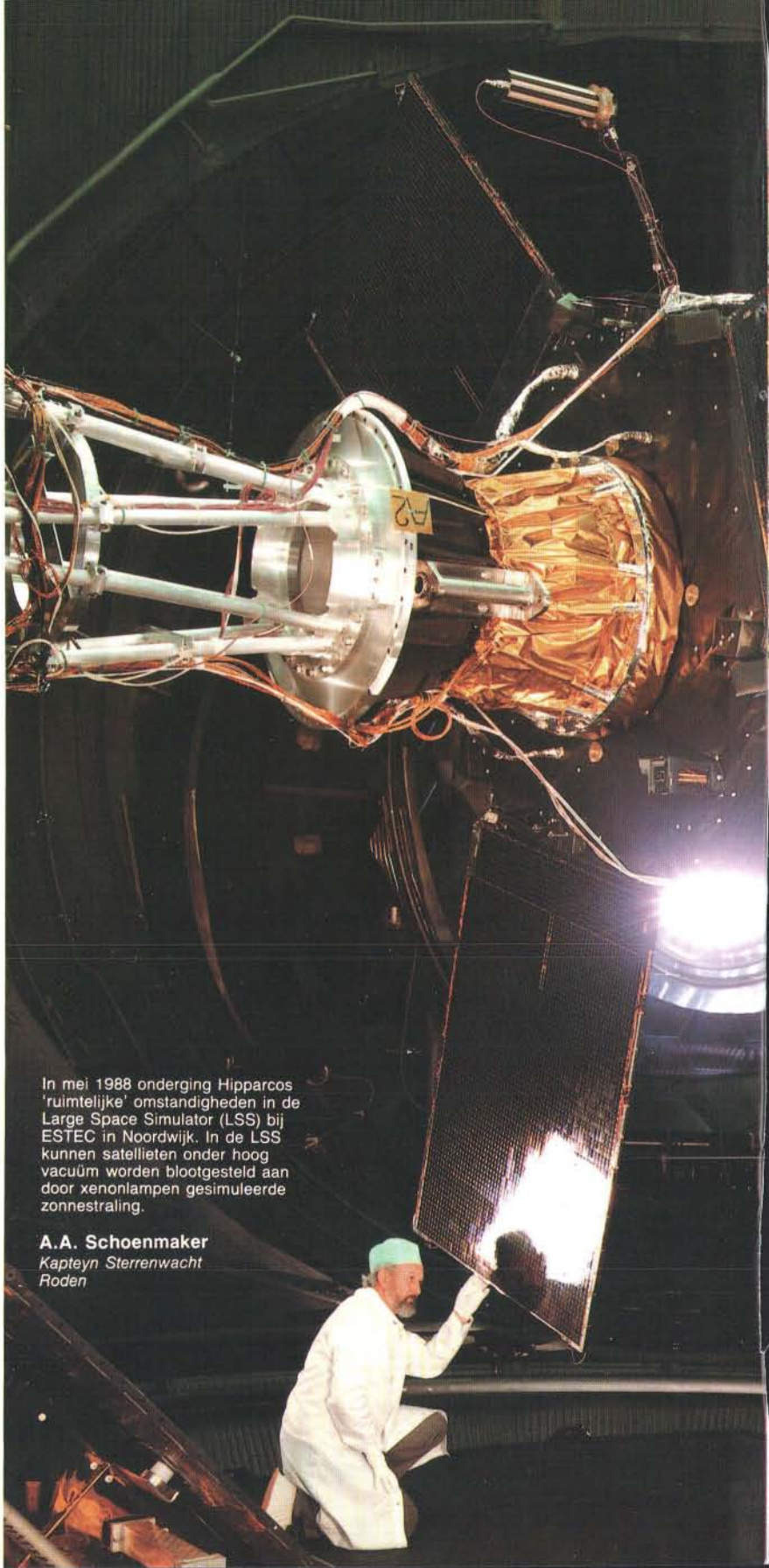
- Paul Mellaart, Maastricht: pag. 354-355, 6.
- Joh. Enschedé & Zn., Haarlem: 1.
- Dick Klees, Duiven: 2, 4 en 5.
- Uit: Kardon RH, Kessel RG, Cellen, weefsels en organen: 7 en 8.
- Transworld Features Holland, Haarlem: 11.



HIPPARCOS

In mei 1988 onderging Hipparcos 'ruimtelijke' omstandigheden in de Large Space Simulator (LSS) bij ESTEC in Noordwijk. In de LSS kunnen satellieten onder hoog vacuüm worden blootgesteld aan door xenonlampen gesimuleerde zonnestraling.

A.A. Schoenmaker
Kapteyn Sterrenwacht
Roden





STERREN OP HUN PLAATS GEZET

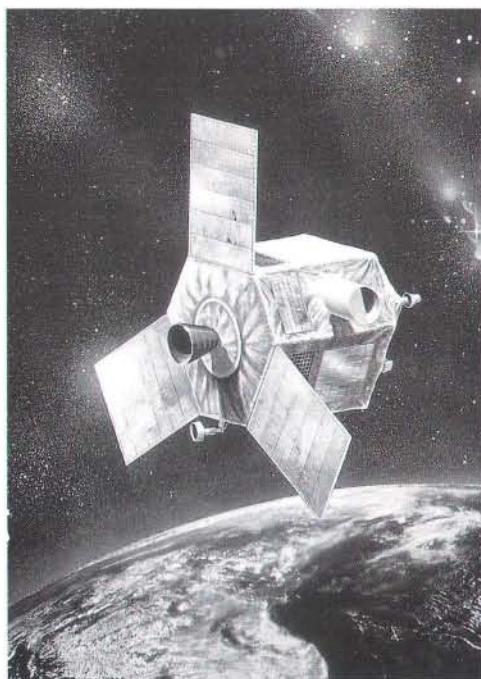
Na bijna tien jaar plannen maken, experimenteren, bouwen en testen, zal in juni een Arianeraket de kunstmaan Hipparcos in een baan om de aarde brengen. Hipparcos moet een revolutie teweegbrengen in het wereldje van de sterrenkundigen die zich specialiseren in het bepalen van de afstanden en posities van de sterren. De omwenteling zal waarschijnlijk vergelijkbaar zijn met de gevolgen van de uitvinding van de telescoop in het begin van de 17de eeuw. De resultaten van de kunstmaan Hipparcos zullen naar verwachting twintigmaal zo nauwkeurig zijn als de huidige gegevens over de sterposities. Het onderzoek naar de bewegingen binnen ons zonnestelsel en onze melkweg zal daar belangrijke nieuwe impulsen van ondervinden.

De sterrenkunde bestaat als wetenschap al zo'n 5000 jaar, en zolang zijn astronomen ook bezig geweest met het vastleggen van de positie van de hemellichamen op de hemelbol. De *astrometrie*, zoals deze tak van sterrenkunde wordt genoemd, werd aanvankelijk voornamelijk toegepast op de plaatsbepaling van zon, maan en planeten. Dat waren de objecten die een belangrijke rol speelden in tijdrekening, navigatie en astrologie. Hierbij vormden de sterren een 'vaste' achtergrond ten opzichte waarvan de bewegingen van de andere hemellichamen werden gemeten. De sterrenkundigen maten met relatief eenvoudige instrumenten als astrolabium en kwadrant (zie Intermezzo I). Met het blote oog bereikten ze een nauwkeurigheid van ongeveer één boogminuut.

Door de uitvinding van de astronomische kijker in 1609 kon het vizier aanmerkelijk beter worden gericht en nam de precisie toe. Het beste op dit gebied zijn tegenwoordig de geautomatiseerde meridiaancirkels, instrumenten die tijdstip en hoogte meten van sterren die de meridiaan passeren. De Carlsberg Automatic Meridian Circle op La Palma, Canarische Eilanden, doet bijvoorbeeld routinematig circa 100 000 metingen per jaar met een nauwkeurigheid van 0,19 boogseconde per meting. Door sterren op verschillende nachten meerdere malen te meten kan deze nauwkeurigheid worden opgevoerd. Het is echter heel moeilijk om de waarneemfout onder de 0,05 boogseconde te krijgen, doordat dan allerlei fouten optreden die niet door herhaald waarnemen en middelen van de resultaten kunnen worden verminderd.

Liever de ruimte in

Met de huidige instrumenten lijken we op aarde aan de grens te zijn gekomen van wat in de astrometrie meetbaar is. De beperkingen worden voornamelijk veroorzaakt door de dampkring van de aarde. Daarin is de onderste luchtlag voortdurend in beweging, met als gevolg dat lichtstralen op niet volledig te voorspellen wijze worden afgebogen. Zelfs door het bouwen van sterrenwachten op grote hoogte, de sterrenwacht van La Palma bevindt zich bijvoorbeeld op ruim 2300 meter hoogte, wordt dit probleem maar ten dele opgelost. Daarnaast is de zwaartekracht op aarde er de oorzaak van dat een telescoop onder zijn eigen



1

gewicht doorbuigt. Voor dit effect kunnen de waarnemingen slechts gedeeltelijk worden gecorrigeerd. Het is dan ook niet verwonderlijk dat er al spoedig nadat de eerste kunstmanen hun bruikbaarheid voor de wetenschap hadden bewezen, plannen ontstonden voor het lanceren van een astrometrische satelliet.

Het eerste voorstel hiertoe kwam in 1966 van de Franse sterrenkundige P. Lacroûte van het Observatoire Astronomique de Strassbourg. Dit voorstel behelsde het waarnemen van ongeveer 700 vrij heldere sterren, gelijkmatig verdeeld over de gehele hemelbol, om aldus een netwerk te vormen met een precisie van 0,01 boogseconde. In de jaren daarna werden uitbreidingen van het voorstel uitvoerig besproken en de astrometristen raakten steeds geestdriftiger over de mogelijk haalbare nauwkeurigheid. Het kostte toch nog tien jaar van technisch ontwikkelingswerk tot de ESA in 1980 het project onder haar hoede nam. Eind 1983 waren de vooronderzoeken afgerond en in 1984 begon men met de bouw van de *High Precision Parallax Collecting Satellite*, of HIPPARCOS, zoals de satelliet intussen gedoopt was. Het is geen toeval dat Hipparcos lijkt op

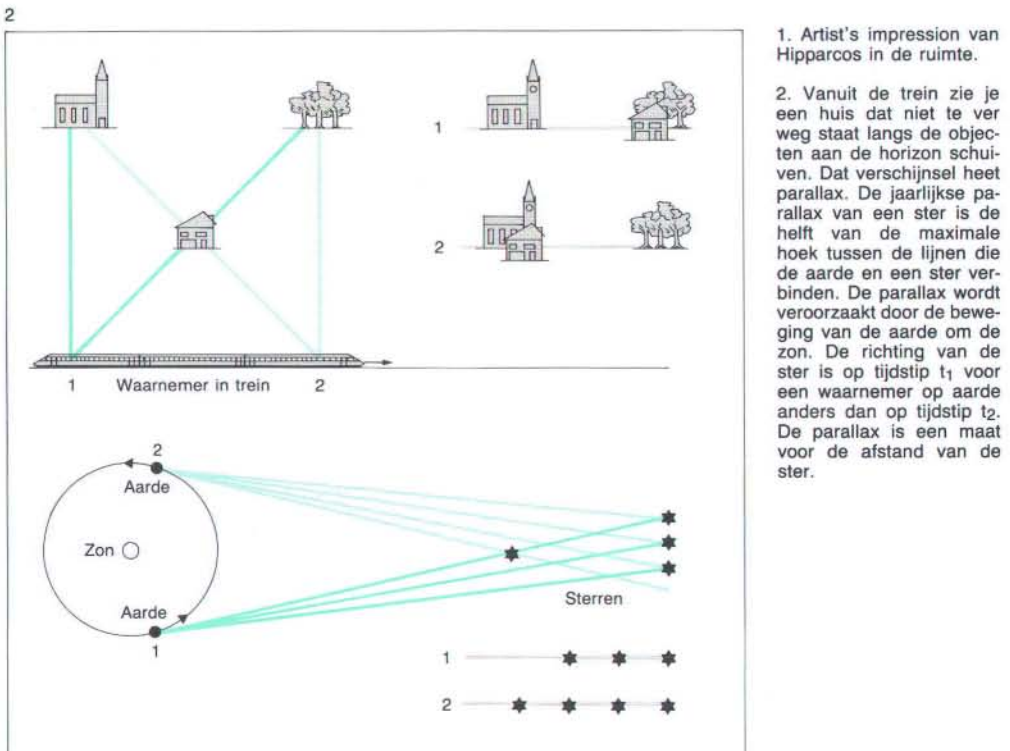
Hipparchus, de naam van de Griekse astronoom uit de tweede eeuw voor onze jaartelling. Hij publiceerde de posities van een kleine duizend sterren in een catalogus en wordt beschouwd als de grondlegger van de astrometrie.

Hoge nauwkeurigheid

De letters PAR in de naam Hipparcos zijn een afkorting van het woord *parallax*. Dat is het verschijnsel dat je, vanuit verschillende standpunten kijkend, objecten in verschillende posities ten opzichte van hun achtergrond ziet. In de sterrenkunde gebruikt men de parallax om afstanden van hemellichamen te meten. Doordat de aarde zich jaarlijks rond de zon beweegt, ziet een waarnemer de positie van een ster in de loop van een jaar veranderen. De grootte van deze jaarlijkse verandering wordt de *jaarlijkse parallax* genoemd en is omgekeerd evenredig met de afstand van de aarde tot een ster: hoe dichterbij de ster staat, des te groter is de parallax. Dit is te vergelijken met

wat we zien als we vanuit een rijdende trein naar buiten kijken: voorwerpen in de buurt van de spoorweg veranderen schijnbaar meer van plaats dan ver weg gelegen punten.

De sterparallax is het nauwkeurigst af te leiden uit metingen die een half jaar na elkaar zijn gedaan, de positieverandering is dan het grootst. Nemen we 0,20 boogseconde als kleinste, redelijk betrouwbaar te meten hoekverschil tussen de twee posities, dit is vier maal de eerder genoemde minimale waarnemfout van 0,05 seconde, dan is de kleinste meetbare parallax 0,10 boogseconde, wat overeenkomt met een afstand van 3×10^{14} km ofwel 33 lichtjaar. Om berekeningen te vermijden wordt door astronomen een afstand vaak uitgedrukt in *parsec*. Eén parsec is de afstand van de aarde tot een ster, die een jaarlijkse parallax vertoont van precies 1 boogseconde. In ons voorbeeld bedraagt de afstand van de ster dus $1/0,10 = 10$ parsec. Met speciale fotografische technieken kan de parallax van nog wat verder gelegen sterren worden gemeten. De uiterste grens ligt toch wel bij een parallax van 0,04 boogse-



Oude astronomische meetinstrumenten

Voor het bepalen van de posities van hemellichamen zijn in de loop der tijden veel soorten instrumenten in gebruik geweest. Het basisprincipe van al deze instrumenten berust altijd op het meten van hoeken aan de hemel. Zo moet men er bij een *Jacobsstaf* voor zorgen dat de te meten objecten optisch precies samenvallen met de uiteinden van een beweegbare lat. De afstand van de beweegbare lat tot het oog is dan een maat voor de gezochte hoek.

Een ander oud instrument is het *astrolabium*, vermoedelijk al in gebruik ten tijde van Hipparchus. Bij het astrolabium wordt de richting van de ster ingesteld met de *alhidade* (vizierstang), waarna afhankelijk van de manier waarop het astrolabium gebruikt wordt, hoogte of azimuth van de ster kan worden afgelezen. Een verbeterde versie van dit instrument ontstond in het begin van de 18de eeuw. Met behulp van een vaste en een draaibare spiegel liet men de te meten objecten samenvallen. Al naar gelang de grootte van de afleescirkel heet zo'n instrument *sextant* (60 graden) of *octant* (45 graden).



I-1

3. Elektromagnetische beproeving in een speciale testruimte van Aeritalia in Caselle, Italië. De elektronische apparatuur van Hipparcos wordt getest op gevoeligheid voor stoorsignalen, uitgezonden door de antenne op driepoot (links).

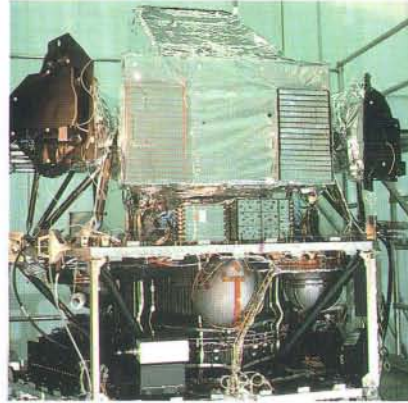


INTERMEZZO

In de astronomie was tot in de 18de eeuw ook het *kwadrant* in gebruik. Ook daarbij wordt de alhidade op het hemellichaam gericht, waarna de hoek op een cirkel van 90° werd afgelezen. Omwille van de nauwkeurigheid hadden kwadranten vaak een grote straal. Tycho Brahe gebruikte er in de 16de eeuw één met een straal van ruim zes meter.

Om van een ster rechte klimming en declinatie te kunnen bepalen, werden deze instrumenten tegen een noord-zuid muur gebouwd. Deze *muurkwadranten* waren voorlopers van de door de Deense astronoom Ole Rømer rond 1700 uitgevonden meridiaan-cirkel.

I-1. Een kwadrant in het 17de eeuwse sterrenkundig observatorium in Peking, gebouwd door de Vlaamse Jezuïet Ferdinand Verbiest.



4. De Hipparcos satelliet is samengesteld uit het ruimtevoertuig met motor en energievoorziening (onder) en het eigenlijke instrument, midden en onder de omhullende constructie. Links- en rechtsboven zijn de zwarte, nog gesloten intree-openingen

van de telescoop te zien. In het onderste gedeelte zien we de bolvormige tanks voor hydrazine, de brandstof voor de motor voor het positioneren in de geostationaire baan en voor stikstof, waarmee de standregeling wordt uitgevoerd.

conde, overeenkomend met een afstand van 25 parsec. Hipparcos verruimt met zijn verwachte nauwkeurigheid van 0,002 boogseconde deze grens tot ongeveer 125 parsec. Alvorens echter verder in te gaan op de astronomische aspecten, eerst wat meer over de wijze waarop Hipparcos de metingen gaat verrichten.

Slimme meetmethode

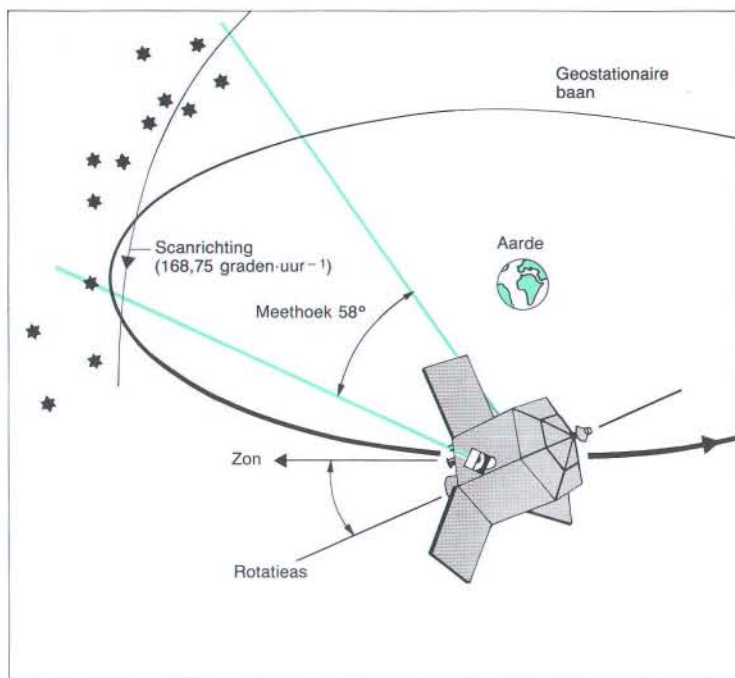
Het hart van Hipparcos wordt gevormd door een telescoop met een effectieve opening van 290 mm en een brandpuntsafstand van 1400 mm. De telescoop is opgebouwd uit drie spiegels: een sferische hoofdspiegel, een vlakke spiegel en een speciale 'gebroken' vangspiegel. De laatstgenoemde spiegel heeft een kleine asferische correctie om een goede beeldkwaliteit te verkrijgen over een groot gezichtsveld. Een dergelijk vrijwel foutenvrij optisch systeem noemt men een *Schmidt-telescoop*, naar de uit Estland afkomstige opticus Bernhard Schmidt, die dit type telescoop in het begin van de jaren dertig ontwikkelde. De 'gebroken' vangspiegel is een combinatie van twee spiegels die onder een hoek van 29° staan. De telescoop kijkt

daarmee gelijktijdig naar twee stukjes hemel die zich 58° van elkaar af bevinden. Het gecombineerde beeld meet $0,9 \times 0,9$ graden en wordt gefocuseerd op een systeem van spleten en detectoren waarmee de onderlinge afstand van de sterren in het beeld kan worden gemeten. De waarneming is zo geprogrammeerd dat steeds hoeken worden bepaald tussen sterren uit beide kijkrichtingen. De meting van een relatief grote hoek van 58° wordt hierdoor teruggedraagt tot het bepalen van een kleine hoek van minder dan 1° . Met deze manier van meten wordt een grote hoek bepaald met de precisie van een kleine. Aangezien de satelliet roteert, ongeveer 3° per minuut, en de rotatieas zelf langzaam beweegt, scant Hipparcos langzaam de hemel en meet telkens andere stercombinaties.

De satelliet zendt de meetgegevens naar de aarde met een transmissiesnelheid van 24 000 bits·s⁻¹. Dit zal ten alle tijde mogelijk zijn, daar de Ariane-4-lanceerraket vanaf de basis Kourou in Frans-Guyana de satelliet in een cirkelvormige geostationaire baan op 36 000 km hoogte zal brengen. De bedoeling is om de satelliet zodanig te manoeuvreren dat deze boven

5. Met een 'gebroken' vangspiegel kijkt de satelliet gelijktijdig naar twee gebiedjes aan de hemel. Door rotatie en tolbeweging van de rotaties wordt in acht weken de gehele hemel gescand.

6. Hipparcos in de vacuümtank van IAL Space in Luik. In de tank worden testmetingen verricht aan optiek en detectiesystemen onder nagenoeg ruimtelijke omstandigheden.



5

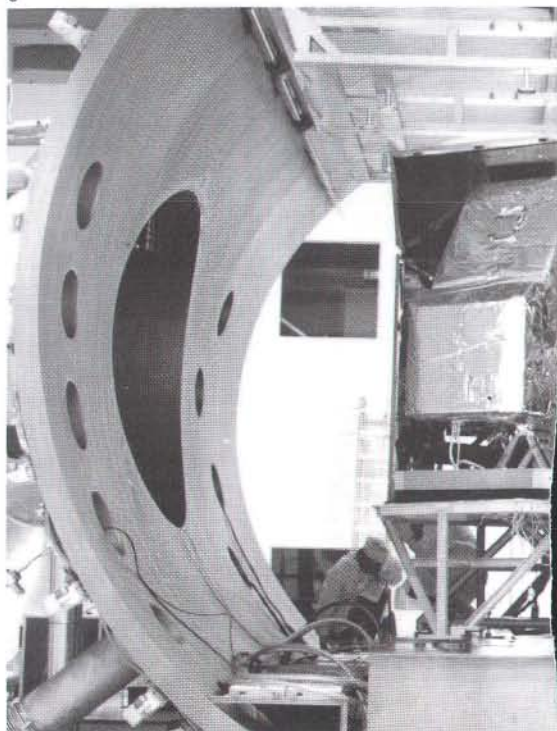
12° westerlengte komt te 'hangen', in direct zicht van het European Space Operations Centre (ESOC) in Darmstadt. In de loop van de voor Hipparcos voorziene operationele periode van tweeënehalf jaar wordt successievelijk een groot databestand opgebouwd, waarin de meetgegevens van ruim 100 000 geselecteerde sterren zullen worden opgeslagen.

Technische uitvoering

Beslissend voor de werking van Hipparcos is de stabiliteit van het meetsysteem. Vooral de 'gebroken' spiegel dient aan hoge eisen te voldoen: de hoek van 58° tussen de twee kijkrichtingen mag tijdens één omwenteling van de satelliet ten hoogste 0,001 boogseconde veranderen. Aan deze strenge eis kan alleen worden voldaan als er binnen de satelliet een zeer goede temperatuurregeling plaatsvindt. Enkele onderdelen, zoals de spiegels van de telescoop, mogen in drie uur slechts temperatuurschommelingen van maximaal 0,05°C vertonen.

Door het roteren van de satelliet zullen de beeldjes van de sterren zich over de meetrasters bewegen. Deze meetrasters zijn opge-

6



bouwd uit twee gedeelten: het hoofdmeetraster en het zogenaamde Tycho-meetraster, genoemd naar de Deense astronoom Tycho Brahe, die in de zestiende eeuw zeer veel posities van sterren en planeten heeft opgemeten. Het Tycho-meetraster bestaat uit een achttal smalle spleten die op ongelijke afstanden van elkaar liggen. Fotomultiplicatoren (PMT's) achter de spleten registreren de acht tijdstippen waarop een ster door deze spleten zichtbaar is. Door met het Tycho-meetraster sterren met bekende posities waar te nemen wordt de stand van Hipparcos in de ruimte geijkt. Is die stand bekend, dan is te voorspellen hoe een ster zich over het hoofdmeetraster zal bewegen.

Het hoofdmeetraster bestaat uit een plaatje waarin 2688 spleten van 0,003 mm breed op onderlinge afstand van 0,008 mm naast elkaar zijn aangebracht. Door de draaiende beweging van Hipparcos beweegt het beeld van een ster, dat voor de detector klein is ten opzichte van het raster, langzaam over het raster. De detector ziet het beeld van de ster dus periodiek sterker en zwakker worden. De afstand tussen de

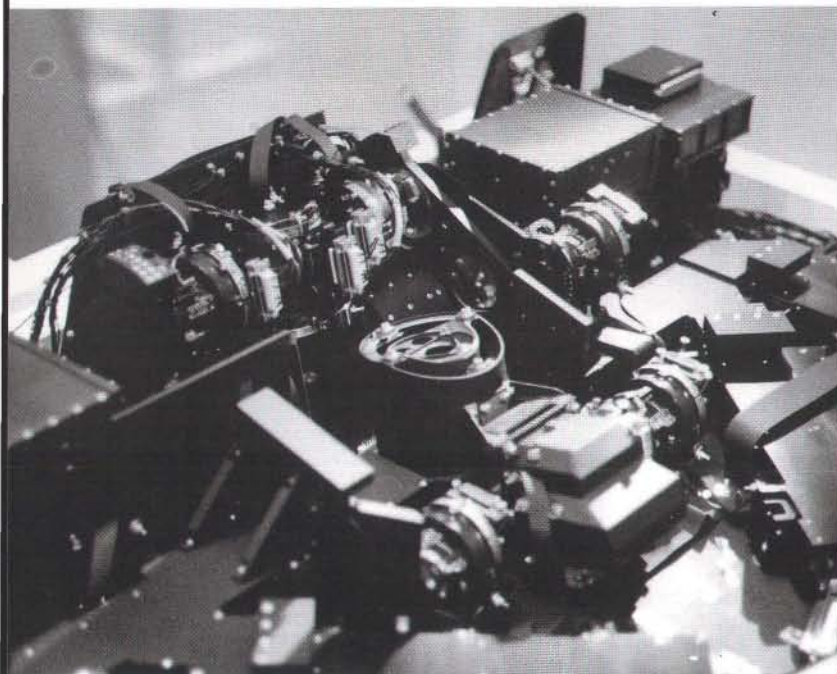
spleten is een nauwkeurige meetlat die in het signaal is verwerkt. Het invallende licht wordt gemeten met een zogenaamde Image Dissector Tube (IDT). De IDT heeft een meetvenster van slechts 38 boogseconden en kan daardoor slechts een deel van het beeld achter het raster meten. De IDT kan overigens met magnetische focuserings- en afbuigspoelen snel in iedere gewenste positie worden gebracht.

Bij het meten springt de IDT voortdurend van sterbeeld naar sterbeeld. Er wordt immers nooit licht van slechts één ster opgevangen, dat zou met de enorme veelheid van sterren onmogelijk zijn, maar het is in dit geval ook niet gewenst, omdat de IDT juist de posities vastlegt die de sterren ten opzichte van elkaar innemen. Het faseverschil tussen de signalen van twee gelijktijdig zichtbare sterren is dan ook het voornaamste gegeven voor een nauwkeurige positiebepaling. Uiteraard moet dan bekend zijn welke sterren worden gemeten en welke globale positie die ten opzichte van elkaar innemen, maar daar is bij de voorbereiding van het Hipparcosproject voor gezorgd.



7. Thermisch testmodel van Hipparcos in opbouw bij Fokker. Gezien de hoge eisen voor de temperatuurstabilisatie – sommige componenten mogen slechts enkele honderdste graden per uur verlopen – zijn bij Fokker uitgebreide

thermische proeven gedaan om de theoretische prognoses te vergelijken met de werkelijkheid. Met behulp van 400 thermokoppels werd op vele plaatsen in de satelliet het temperatuurverloop geregistreerd.



8

8. De unit met meetraster, focusseermechanisme, hoofddetectiesysteem en Tycho twee-kleuren-detectiesysteem. Beide systemen zijn in tweevoud uitgevoerd, zodat bij eventuele storingen op het reservesysteem kan worden overgegaan. Nederlandse instellingen hebben grote bijdragen geleverd aan de ontwikkeling en bouw van deze unit: de Technisch Fysische Dienst (TPD) in Delft wat betreft het meetraster en het focusseermechanisme en het Utrechts laboratorium van de Stichting Ruimteonderzoek Nederland (SRON) wat betreft de detectiesystemen.

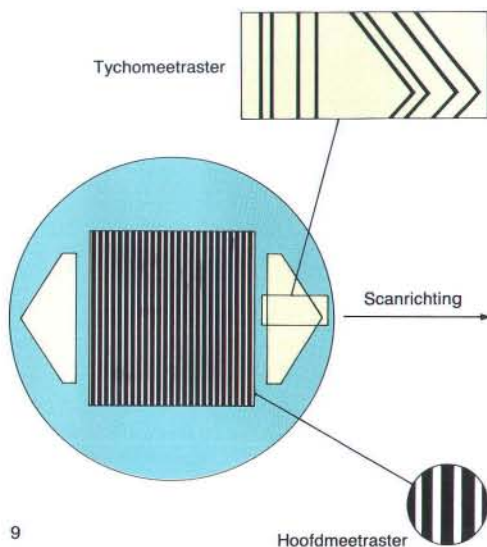
10. De optische kwaliteit van de 'gebroken' vangspiegel van de telescoop wordt getest met een interferometer. Duidelijk is te zien, dat de spiegel bestaat uit twee helften onder een hoek van 29° .

De grootte van het signaal van de detectoren is evenredig met de helderheid van de ster. Hierdoor leveren beide detectiesystemen ook informatie over de helderheid (magnitude) van de ster. De twee fotomultipliers van het Tycho-meetsysteem zijn bovendien voorzien van een kleurfilter, waardoor de magnitude kan worden gemeten in twee verschillende gebieden van het lichtspectrum. Op deze wijze kunnen de kleur en de daarmee samenhangende spectraalklasse van sterren worden vastgesteld.

Input catalogus

Bij de hierboven geschetste meetmethode gaat men er van uit dat Hipparcos op ieder moment al 'weet' welke ster zich waar in zijn gezichtsveld bevindt. De enige taak van Hipparcos is in feite om de positie van die ster veel nauwkeuriger te bepalen dan tot nu toe mogelijk was. Om het nauwkeurige meetraster van Hipparcos optimaal te kunnen gebruiken moet van tevoren al uitgerekend zijn welke sterren op iedere moment door welke rasterspleten te zien zullen zijn.

Als gevolg van deze eis moeten de posities



9

9. In het brandvlak van de Schmidt-telescoop bevinden zich de rastersystemen. Het hoofdmeetraster bestaat uit 2688 spleten met een opening van $3,2 \mu\text{m}$, overeenkomend met $0,47$ boogseconde aan de

hemel, en een onderlinge afstand van $8,2 \mu\text{m}$. Het Tycho-meetraster bevat acht spleten op onregelmatige afstand, waarmee de stand van Hipparcos in de ruimte kan worden bepaald.



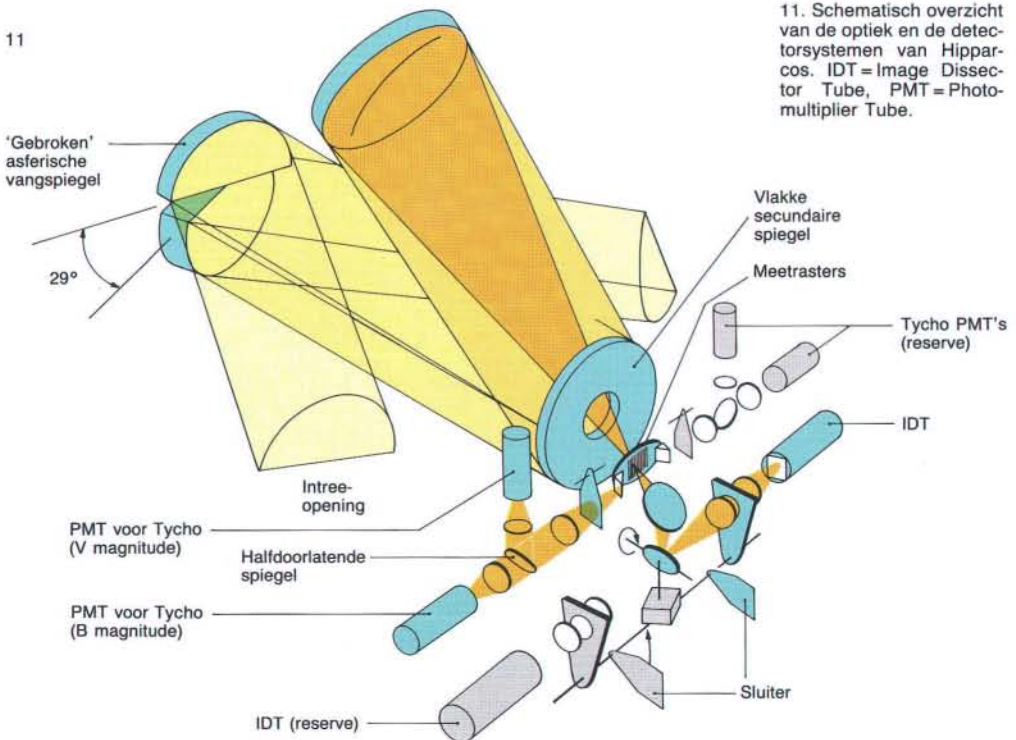
10

van de te meten objecten op 1,5 boogseconde nauwkeurig bekend zijn. Om hieraan te kunnen voldoen is in 1982 begonnen met de voorbereiding van de Input Catalogus. Met een consortium van 26 instituten uit acht landen, waaronder Nederland en België, is hard gewerkt aan de samenstelling van een catalogus en het 'voormeten' van de objecten. De uiteindelijke lijst bevat ruim 100 000 sterren, planeten, planetoïden, quasars en compacte radiobronnen met helderheden tot magnitude 13. In april 1988 is een magneetband met deze lijst door het Input Catalogue Consortium overgedragen aan ESA.

Data-analyse

Om de enorme datastroom van Hipparcos te kunnen verwerken is ook voor de data-analyse een aantal consortiums gevormd: NDAC (Northern Data Analysis Consortium) met instituten uit Denemarken, Zweden en Groot-Brittannië en FAST (Fundamental Astronomy by Space Techniques) uit Frankrijk, Italië, Ne-

11



11. Schematisch overzicht van de optiek en de detectorsystemen van Hipparcos. IDT = Image Dissector Tube, PMT = Photomultiplier Tube.

derland, de Verenigde Staten en West-Duitsland. Om de kans op fouten zo klein mogelijk te houden, zullen beide consortiums de gegevens min of meer onafhankelijk van elkaar verwerken. De voornaamste taak voor de gegevensverwerkende teams zal de reconstructie van de positie van de sterren aan de hemel zijn. De door Hipparcos gemeten relatieve hoeken van 58° tussen de sterren onderling, moeten worden omgezet in absolute posities. Daarbij moet er rekening mee worden gehouden dat door de ruimtelijke beweging van de sterren, de zogenaamde *eigenbeweging*, en de parallax, deze posities in de loop van de missie veranderen. Het is de bedoeling dat Hipparcos tweeënhalf jaar metingen uitvoert. De uiteindelijke resultaten, een catalogus met posities, parallaxen, eigenbewegingen en magnitudes hopen NDAC en FAST in 1995 gezamenlijk te publiceren.

Een derde consortium TDAC (Tycho Data Analysis Consortium) zal zich bezig houden met de resultaten van het Tycho-meetsysteem. De door TDAC uit te brengen catalogus zal

naar men hoopt posities bevatten van 500 000 sterren tot de 11de magnitude met een nauwkeurigheid van 0,03 boogseconde.

Supernetwerk

De huidige beste 'aardse' catalogus met sterposities is de uit 1963 daterende FK4. Die bevat de posities van 1535 sterren, merendeels helderder dan de 7de magnitude, met een positionele nauwkeurigheid van 0,05 boogseconde. De Hipparcoscatalogus met 100 000 sterren tot magnitude 13 en een positionaauwkeurigheid van 0,002 boogseconde betekent dan een enorme stap vooruit. Deze laatste catalogus is bovendien veel homogener dan de FK4, omdat het probleem van de aansluiting tussen waarnemingen van het noordelijk en zuidelijk halfrond bij Hipparcos niet optreedt. Door het waarnemen van ver weg gelegen radiosterren en quasars, zal het coördinatensysteem van Hipparcos zo goed mogelijk absoluut worden gemaakt, dat wil zeggen zo min mogelijk gekoppeld zijn aan de gecompliceerde bewegin-

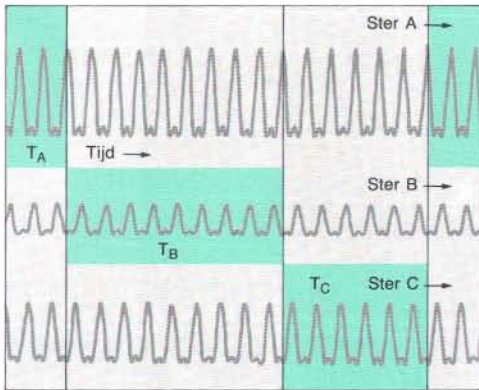
12. Testopstelling van de sferische hoofdspiegel van de Schmidt-telescoop van Hipparcos. Interferometrische metingen lieten zien dat het oppervlak slechts een gemiddelde afwijking van 5,6 nanometer (ongeveer 1/100 golflengte) vergeleken met een ideaal sferisch oppervlak heeft.

12



13. Simulatie van de door het meetraster van de telescoop gemoduleerde signalen van de Image Dissector Tube. Achtereenvolgens zijn ster A, B, C en nogmaals A gemeten. Uit het faseverschil tussen de

signalen bepaalt men de relatieve hoeken tussen de sterren, die vervolgens met behulp van de basishoek tussen de twee kijkrichtingen (circa 58°) absoluut gemaakt kunnen worden.



13

gen van de aarde. De na tweeëneenhalf jaar verkregen eigenbewegingen zullen een beter inzicht verschaffen in de ruimtelijke bewegingen van sterren en, op grotere schaal, in de dynamica van de melkweg als geheel. Een goed gedefinieerd referentiesysteem van sterren maakt het mogelijk de bewegingen van objecten binnen ons zonnestelsel beter vast te leggen, zodat wellicht uitsluitsel kan worden verkregen over allerlei problemen rond de bewegingen van met name de maan, Neptunus en Pluto.

Afstanden en helderheden

Door de nauwkeurige meting van de jaarlijkse parallax, hierboven al besproken, verlegt Hipparcos de horizon waarbinnen driehoeksmeting in het heelal mogelijk is van 25 tot 125 parsec. Binnen deze afstand bevindt zich een groot aantal sterren en sterrenhopen, waarvan astronomen graag de juiste afstand tot de aarde willen weten. Vooral de afstand tot de Hyaden, een veelvuldig onderzochte open sterrenhoop in het sterrenbeeld Stier, is van groot belang. Deze afstand geldt namelijk als ijkmaat voor het meten van verafgelegen objecten. Tot

duisverre is de afstand van de Hyaden, ongeveer 45 parsec, indirect bepaald uit de perspectivische vertekening van de eigenbewegingen van leden van deze sterrenhoop. Hierbij is men er echter van uitgegaan dat deze sterren zich met dezelfde snelheid parallel in de ruimte bewegen. Hipparcos zal kunnen aantonen of deze aanname correct is.

Een andere belangrijke grootte die met een goed bepaalde afstand nauwkeuriger kan worden bepaald, is de absolute helderheid van een ster. De absolute helderheid is een maat voor de energieproductie van een ster en is samen met de spectrale gegevens belangrijk voor het bepalen van de fysische processen die de straling van een ster beïnvloeden. Met behulp van de absolute magnitude en het spectraaltypen kan men voor sterren een zogenaamd Hertzsprung-Russelldiagram opstellen, waarbij de positie binnen het diagram afhankelijk is van allerlei fysische en chemische eigenschappen van de ster. Doordat de rechtstreeks meetbare afstand van sterren door Hipparcos zal worden verviervoudigd, zullen er circa 125 maal zoveel sterren in het H-R-diagram kunnen worden geplaatst. Met de analyse van alle meetgegevens zullen de astrofysici ongetwijfeld nog jaren bezig zijn.

Literatuur

Perryman MAC. Ad Astra Hipparcos. Noordwijk: ESA; 1985
Winkler Prins Encyclopedie van de Astronomie. Amsterdam: Elsevier; 1986. ISBN 90 10 05822 0

Bronvermelding illustraties

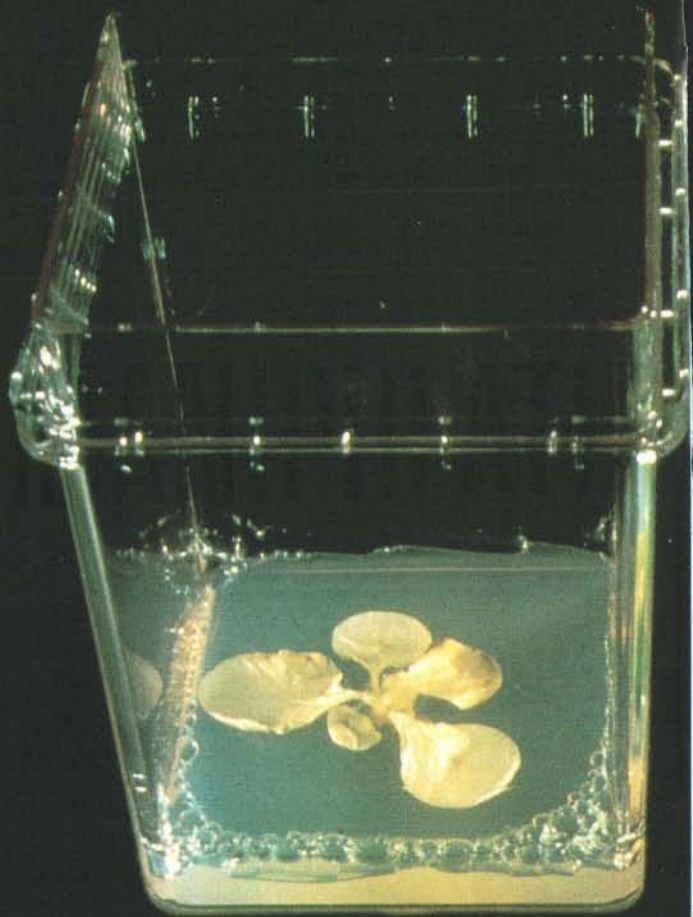
ESA/ESTEC, Noordwijk: pag. 366-367, 1, 8, 10
Aeritalia, Rome, Italië: 3
Matra Space, Parijs, Frankrijk: 4
T. de Jong, Bussum: I-1
IAL Space, Luik: 6
Fokker Space, Amsterdam: 7
Carl Zeiss, Oberkochen, BRD: 12

GEN | MANIPULATIE

In glazen bakken die in een kweekruimte staan worden volledige planten geregeneerd uitgaande van een scheut. Genetisch veranderde planten worden geselecteerd (rechts) door ze te kweken op een medium dat een produkt bevat dat de niet-getransformeerde planten in de groei remt of doet afsterven.

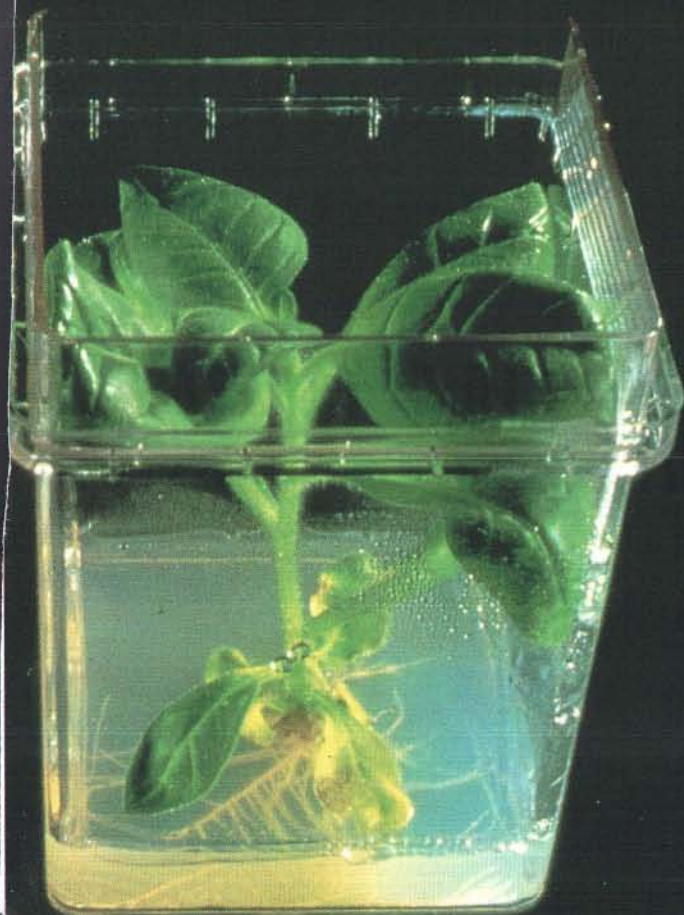
Johan Botterman

*Plant Genetics Systems NV
Gent*



DE CONSTRUCTIE VAN

VAN PLANTEN



Planten hebben altijd een belangrijke rol gespeeld in het leven van de mens, vooral als voedselbron. In de ontwikkeling van de landbouw zijn voortdurend nieuwe variëteiten ontwikkeld, die een hogere opbrengst gaven of beter bestand waren tegen allerlei plagen, koude, droogte, etcetera. Hierbij werden steeds planten met nuttige eigenschappen gekruist, in de hoop dat de nakomelingen gunstiger kenmerken zouden hebben. Met genetische manipulatiemethoden is het thans mogelijk gericht aan de eigenschappen van planten te sleutelen. Zo worden momenteel rassen ontwikkeld die zichzelf beschermen tegen insecten, ongevoelig zijn voor virusinfecties, resistent zijn tegen onkruidverdelgers of als producent van hoogwaardige biologische molekulen kunnen dienen.

RESISTENTE RASSEN

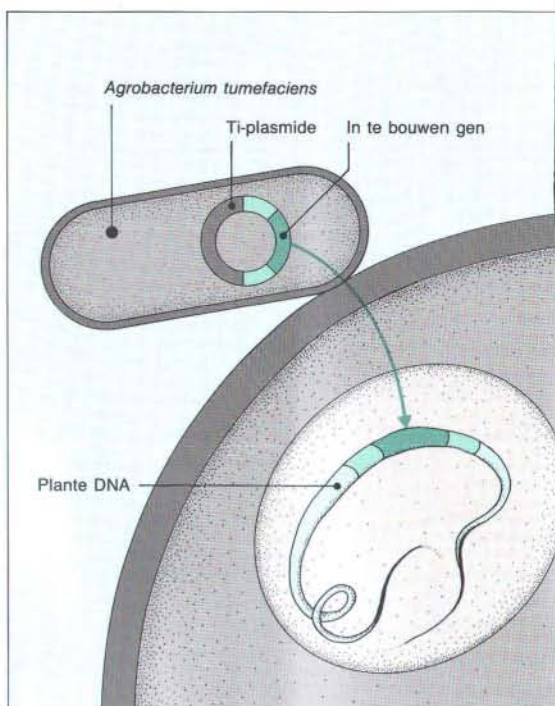
Plantenveredelaars hebben zich altijd toegelegd op de verdere aanpassing van gewassen aan de behoeften van de landbouw. Daardoor beschikken we thans over een breed scala van hoogproductieve variëteiten en rassen. Deze veredelde rassen kwamen tot stand door plantesoorten te kruisen en nakomelingen met een gewenste combinatie van eigenschappen te selecteren om er verder mee te kweken. Hoewel dit een effectieve methode is, zijn de mogelijkheden beperkt: zulke kruisingen zijn alleen mogelijk tussen nauw verwante soorten. Bovendien is het resultaat veelal onvoorspelbaar en vergen deze kruisingen veel tijd.

Recente ontwikkelingen in de moleculaire biologie en de celbiologie van planten hebben een nieuwe dimensie aan de plantenveredeling toegevoegd. Er zijn technieken ontdekt om genen, de dragers van de erfelijke informatie, van de ene plantesoort in een andere, niet-verwante soort in te bouwen. Men kan zelfs genen die niet van planten afkomstig zijn inbouwen en tot expressie brengen. Gewenste eigenschappen kunnen zodoende naar behoefte en gericht in landbouwgewassen worden ingebracht, zodat nieuwe mogelijkheden voor plantenveredeling ontstaan.

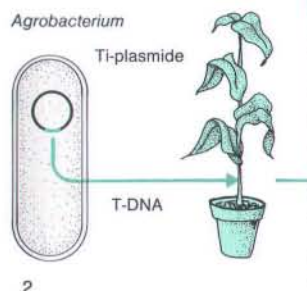
Genetische manipulatie

Het introduceren van nieuwe, soortvreemde genen in een gastheer, gebeurt met behulp van de *recombinant-DNA-technologie*, ook wel *genetic engineering* genoemd. Deze technologie heeft zich op stormachtige wijze ontwikkeld.

Met de wetenschap dat de erfelijke informatie is opgeslagen in het desoxyribonucleïnezuur (DNA) en na de opheldering van de DNA-structuur in 1953 werden moleculair-biologische experimenten met genetisch materiaal mogelijk. Pas in het begin van de jaren zeventig werd genetic engineering mogelijk door de ontdekking van twee belangrijke hulpmiddelen: de *restrictie-enzymen* en de *plasmiden*. Restrictie-enzymen zijn enzymen die in een DNA-molekuul bepaalde basenvolgorde herkennen en daar de DNA-keten doorknippen. Zij worden toegepast om afzonderlijke genen uit het DNA te lichten. Plasmiden zijn kleine ringvormige stukjes DNA, die in bacteriecellen voorkomen en zich onafhankelijk van het chromosoom in de bacterie kunnen vermenigvuldigen.



2 en 3. Tumorgroei bij infectie met *Agrobacterium tumefaciens*. Bij infectie van verwond planteweefsel door deze bacterie wordt het T-DNA van het *Ti-plasmide* ingebouwd in het chromosomaal DNA van de plantecel en ontstaat een tumor (2). Op de elektronenmicroscopische foto (3) zien we twee van die bacteriën bij de wand van een plantecel.

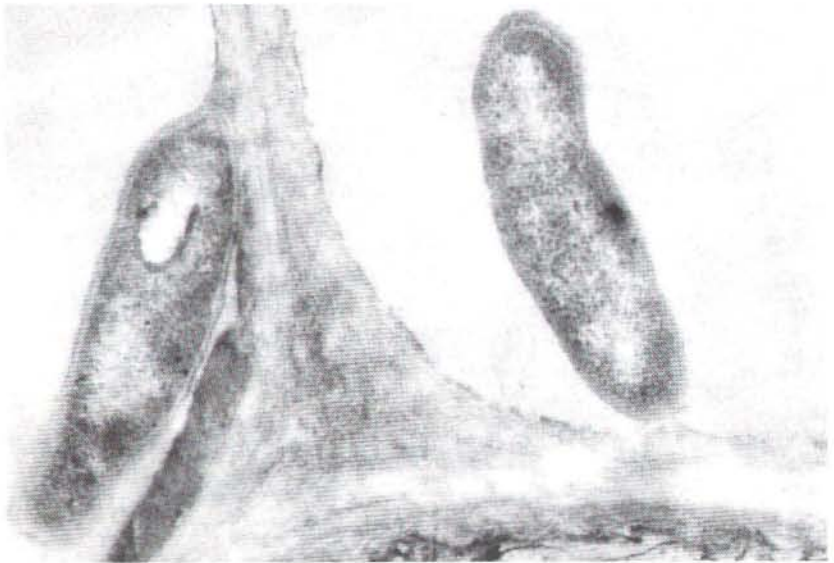
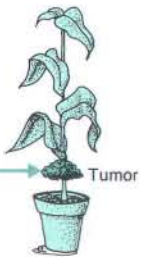


DNA-recombinatie verloopt globaal als volgt: men isoleert plasmiden uit bacteriecellen, knipt die open met een restrictie-enzym en voegt er de in te bouwen DNA-fragmenten aan toe, samen met enzymen die ervoor zorgen dat het fragment aan de losse uiteinden van het plasmide wordt vastgemaakt (afb. 1). Het aldus gemaakte recombinant-DNA-plasmide wordt vervolgens in een geschikte gastheer cel gebracht. Aanvankelijk werden alleen bacteriën – met name *Escherichia coli* – als gastheer gebruikt. Tegenwoordig komen ook hogere organismen in aanmerking.

Voor de ontwikkeling van de genetische ma-



1. Het Ti-plasmide van de bacterie *Agrobacterium tumefaciens* is zodanig te manipuleren dat het kan dienen om nieuwe genen in planten in te bouwen. *Agrobacterium* infecteert dicotyle planten, waarbij het nieuw ingebouwde gen wordt opgenomen in het erfelijk materiaal van de plantecel. Door uit deze cel een plantje te kweken kan het gen verder vermenigvuldigd worden.



nipulatie van planten is gebruik gemaakt van een verschijnsel dat in de natuur voorkomt. Al in het begin van deze eeuw is vastgesteld dat sommige dicotyle (tweezaadlobbige) planten, zoals bijvoorbeeld de tomaat, aardappel en tabak, tumorachtige gezwellen ontwikkelen na infectie door de bodembacterie *Agrobacterium tumefaciens*. Bij het onderzoek naar het ontstaan van deze tumoren is aangetoond dat *Agrobacterium* naast zijn chromosoom ook een plasmide bezit. Dit Ti- (tumorinducerend) plasmide is verantwoordelijk voor de tumorvorming. Tijdens het infectieproces komt een deel van het plasmide — het T-DNA of

transfer-DNA — vrij in de plantecel, waar het wordt opgenomen in één van de chromosomen van de geïnfecteerde cel. Dit T-DNA draagt de genen die voor de tumorvorming zorgen.

In het begin van de jaren tachtig is vastgesteld dat slechts een deel van het T-DNA verantwoordelijk is voor de eigenlijke DNA-overdracht van bacterie naar plantecel. De rest van het T-DNA speelt bij de overdracht geen rol. Korte tijd later bleek bovendien dat die rest met restrictie-enzymen verwijderd kan worden en vervangen door vreemd DNA, zonder dat de overdracht ervan van bacterie naar

plant wordt verstoord. Vreemd DNA kan dus via het Ti-plasmide in een plantecel worden gebracht, worden opgenomen in een chromosoom van die cel en doorgegeven aan volgende plantengeneraties.

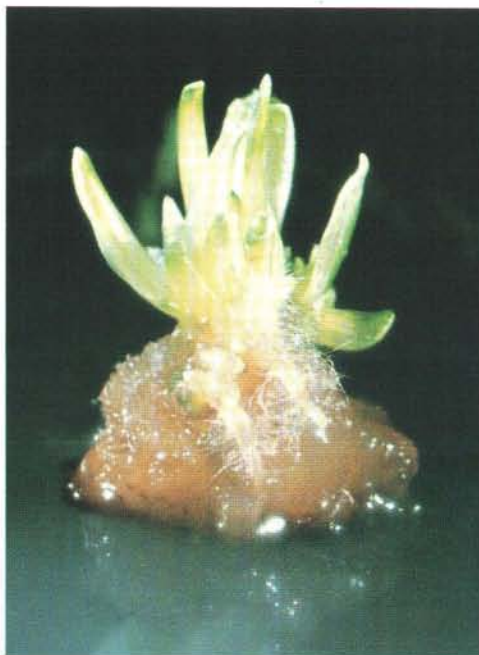
Transformatie en regeneratie

Het gegeven dat een vreemd gen in een chromosoom van een plantecel is opgenomen, biedt nog geen garantie dat het ook daadwerkelijk tot expressie komt. Met andere woorden: het is niet gezegd dat het gen ook wordt uitgedrukt in een eiwit. De plantecel is immers

5

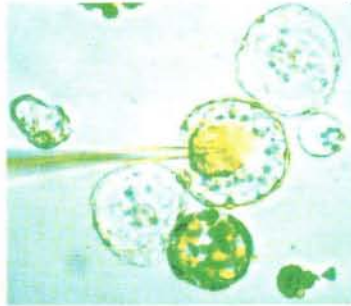
4. Groei van genetisch gemanipuleerde planten in weefselcultuurkamers. Deze planten groeien op kunstmatige media onder sterk gecontroleerde condities van temperatuur, licht en vochtigheid.

5. Uit gemanipuleerde plantecellen kunnen complete planten worden opgekweekt. Deze cellen vormen aanvankelijk een klompje ongedifferentieerde cellen, het zogenaamde callus. Bij dit plantje is het callusweefsel nog steeds zichtbaar; het is het lichtbruine klompje aan de onderkant.

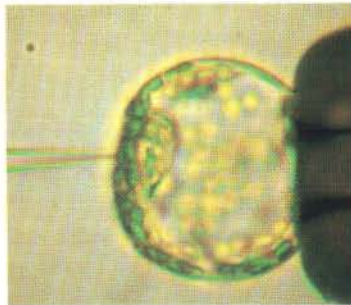




6



7



8

6, 7 en 8. Micro-injectie is een manipulatietechniek die bij planten kan worden toegepast. In te bouwen DNA wordt daarbij rechtstreeks in de plantecel ingespoten. Dat moet gebeuren onder een microscoop met behulp van micro-manipulators (6). Om de cellen te fixeren, worden ze tijdelijk vastgelegd op een glasplaatje (7) of met een glazen pipet vastgezogen (8).

een vreemde omgeving voor het ingebrachte gen. Daarom is het essentieel het gen te voorzien van een aantal regulatorische signalen die ervoor zorgen dat het vreemde gen in de plantecel in een eiwit wordt vertaald.

Een tweede complicatie is dat infectie met een Ti-plasmide dat het vreemde gen draagt, niet alle cellen van de plant treft. Er moet daarom een manier bedacht worden om wel en niet geïnfecteerde cellen van elkaar te onderscheiden. Dit probleem is opgelost door nog

een tweede gen in te bouwen, dat de plantecel beschermt tegen toxische stoffen waar zij anders aan zou bezwijken. Als getransformeerde en niet-getransformeerde plantecellen op een voedingsbodem met die gifstoffen worden gebracht, blijven de cellen met vreemd DNA in de kern in leven, zodat selectie tussen beide celtypen mogelijk is.

Uit deze afzonderlijke cellen wordt vervolgens een complete plant 'geregenereerd'. Alle cellen van die plant bevatten dan naast de gebruikelijke genen ook de nieuw ingebouwde. Dergelijke gemanipuleerde planten worden *transgene planten* genoemd. De eigenschap dat uit afzonderlijke cellen complete organismen kunnen worden gekweekt, noemt men de *totipotentie* van die cellen. Totipotentie is essentieel voor het welslagen van de genetische manipulatie bij hogere planten.

De eerste transgene planten zijn in 1983 ontwikkeld. Een bacterieel gen dat beschermt tegen antibiotica werd ingebouwd in een tabakspiant en een petunia. Nu, zes jaar later, zijn zowel de mogelijkheden van cel- en weefselkweek als de technieken om genen in planten over te dragen spectaculair verbeterd. Hierdoor is het mogelijk om genetische manipulatie bij een breed scala van landbouwgewassen toe te passen. De oorspronkelijke techniek, waarbij het Ti-plasmide van *A. tumefaciens* wordt gebruikt, is immers alleen toepasbaar bij dicotyle planten en daar vallen bijvoorbeeld de granen buiten. Tegenwoordig kan men planten genetisch manipuleren door DNA of plasmiden rechtstreeks in andere cellen in te

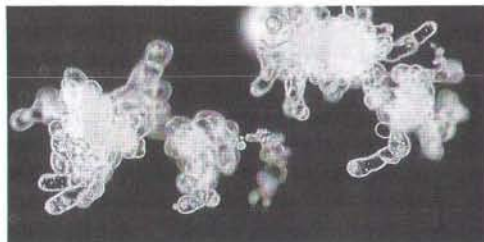


9. Stukjes ongedifferentieerd callusweefsel, waaruit weldra een hele plant zal groeien.

10. Planten die resistent gemaakt zijn tegen bepaalde herbiciden, worden er in het laboratorium mee bespoten, om te controleren of de genetische verandering inderdaad het beoogde resultaat heeft.

11 en 12. Met behulp van recombinatietechnieken kunnen planten resistent

worden gemaakt tegen herbiciden, zoals Basta®. De twee planten links in 11 zijn ermee behandeld. Van die twee kreeg de plant links de resistentie ingebouwd. Het inbouwen van het gen heeft geen invloed op de groeimogelijkheden van planten die niet werden behandeld. Zo kunnen planten ook giftig worden gemaakt voor bepaalde insectlarven (12). Op de onderste foto een blad van een dergelijke plant.



9



10

brengen. Door middel van bijvoorbeeld *micro-injectie* is het mogelijk om DNA in celkernen te spuiten. Ook dit DNA kan in een chromosoom worden ingebouwd en tot expressie worden gebracht in de plant die uit een geïnjecteerde cel is opgekweekt.

Momenteel zijn er van meer dan twintig plantesoorten transgene planten gemaakt. Daaronder bevinden zich belangrijke dicotyle gewassen als koolzaad, suikerbiet, katoen, soja en monocotylen, zoals rijst en maïs. Te verwachten is dat in de nabije toekomst alle technische barrières voor de DNA-overdracht en de regeneratie van complete planten uit getransformeerde cellen verdwenen zullen zijn. Alle landbouwgewassen kunnen dan naar behoefte genetisch veranderd worden.

Essentieel is dat bovendien grote vooruitgang is geboekt bij de identificatie en isolatie van genen voor bepaalde nuttige kenmerken. Alleen daardoor is het mogelijk om planten eigenschappen te geven die met klassieke verdelingsmethoden ondenkbaar zouden zijn.

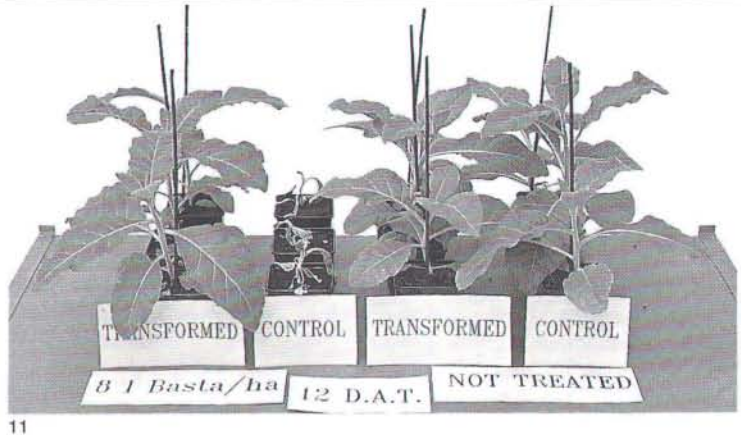
Onkruidbeheersing

Veel ontwikkelingswerk aan transgene planten is gericht op toepassingen in de gewasbescher-

ming. Sinds 1986 zijn met succes planten geproduceerd met een ingebouwde resistentie tegen herbiciden, insecten of virussen.

Het is altijd een probleem geweest om landbouwgronden vrij te houden van onkruid. Gewoonlijk worden daarvoor onkruidbestrijdingsmiddelen of *herbiciden* aangewend. In het verleden gebruikte men hierbij veelal stoffen die zeer schadelijk voor het milieu zijn. De laatste jaren komt echter een nieuwe generatie producten op de markt, die betrekkelijk onschadelijk is, omdat ze in het veld snel wordt afgebroken. Deze zijn wel effectief tegen onkruiden, maar maken geen onderscheid tussen onkruiden en nuttige gewassen. Bespuitingen met deze middelen moeten dan ook zeer nauwkeurig worden uitgevoerd.

Met behulp van genetische manipulatietechnieken kan nu in de te beschermen plant een vreemd gen ingebouwd worden, waardoor de plant een enzym gaat produceren dat het herbicide omzet in een inactief produkt. Zo is bijvoorbeeld uit de bodemschimmel *Streptomyces hygroscopicus* een gen geïsoleerd, waarmee het herbicide glufosinaat omgezet kan worden in een onschadelijke derivaat. Dit gen is inmiddels ingebouwd in tabak, aardappel, tomaat, koolzaad, populier en suikerbiet. Uit laborato-



11

Insekten en virussen

Ook voor de bestrijding van schadelijke insecten wordt op grote schaal gebruik gemaakt van chemische bestrijdingsmiddelen. Eén van de problemen die daarbij opduikt is dat veel middelen niet alleen giftig zijn voor vraatzuchtige insecten, maar ook voor andere organismen, zoals nuttige insecten, onschuldige bodemdieren en dergelijke. Bovendien merkt men steeds vaker dat schadelijke insecten resistent worden tegen deze middelen.

Gelukkig bestaan er ook biologische methoden om schadelijke insecten te bestrijden. In de sporen van de bacterie *Bacillus thuringiensis* komt bijvoorbeeld een eiwit voor dat dodelijk is voor een aantal insecten, maar volstrekt onschadelijk voor de mens en zelfs voor nuttige insecten als de honingbij. Dit middel heeft echter als nadeel dat het in het veld snel afgebroken wordt, terwijl het alleen bescherming biedt aan sommige delen van de plant. Daarom heeft men uit de bacterie het gen voor dit eiwit geïsoleerd en in planten ingebouwd. Nu produceert het gewas zelf de stof die tegen vraatzuchtige inktelaren beschermt. De plant is als het ware giftig geworden en bespuitingen zijn verder overbodig. Momenteel is uit *B. thuringiensis* een aantal genen geïsoleerd waarvan de produkten specifiek een aantal insectesoorten kunnen doden. Omdat een gewas op het veld doorgaans door meerdere soorten bedreigd wordt, zullen in de praktijk meerdere genen in een gewas ingebracht moeten worden om aan allerlei plagen het hoofd te kunnen bieden.



12

riumtesten en veldproeven op kleine schaal is gebleken dat deze planten volledig resistent zijn tegen glufosinaat.

De introductie van dergelijke vormen van resistentie tegen bestrijdingsmiddelen in landbouwgewassen maakt het mogelijk om onkruiden te beheersen met goed-afbreekbare stoffen die geen vat meer hebben op het nuttige gewas.

Ook voor de bestrijding van virussen is de recombinant-DNA-techniek van nut. De eerste successen bij het inbouwen van virusresistentie zijn gebaseerd op de zogenaamde *cross protection*. Het was bekend dat planten tegen virulente virusstammen beschermd kunnen worden door ze te infecteren met een milde stam van dezelfde soort; sommige vaccinaties bij mens en dier zijn op een vergelijkbaar principe gebaseerd. Bij het opbouwen van deze bescherming speelt het manteleiwit dat de buitenkant van het virus bekleedt, een belangrijke rol. De plant herkent dit eiwit en reageert erop. Door nu het gen voor dit eiwit uit het virus te isoleren en op de plant over te brengen, kunnen beschermende reacties worden opgeroepen waardoor de vatbaarheid van de plant voor virusinfecties drastisch afneemt.

Op deze wijze is bij verschillende plantesoorten resistentie opgebouwd tegen een aantal virussen, zoals het tabak-mozaïekvirus, het alfalfa-mozaïekvirus en het aardappelvirus-X. De resistentie blijkt specifiek te zijn voor deze virussen en nauw verwante klassen.

Bovenstaande voorbeelden illustreren welke moleculaire strategieën in de gewasbescherming worden gevolgd. Daarnaast bestaan er vanzelfsprekend nog andere bedreigingen waartegen men gewassen wil beschermen, zoals infecties met bacteriën of schimmels, en stress-factoren als vorst, droogte en zout. Ook kan men streven naar kwaliteitsverbetering door de ontwikkeling van planten die bijdragen aan een meer evenwichtige voeding, bijvoorbeeld gewassen waarvan de zaadeiwitten meer *essentiële aminozuren* bevatten; dat zijn aminozuren die het lichaam niet zelf kan maken en die daarom met het voedsel moeten worden opgenomen. Men denkt er tenslotte ook aan om planten zodanig te manipuleren dat zij produkten kunnen leveren die langs chemische weg moeilijk te maken zijn, zoals bepaalde oliën en kleurstoffen die bijvoorbeeld in cosmetica worden gebruikt.

Recent is het gelukt om met genetisch gemanipuleerde planten farmaceutisch waardevolle eiwitten te produceren. Deze worden dan bijvoorbeeld in de zaden aangemaakt en kunnen er vervolgens op eenvoudige wijze uit geëxtraheerd worden. Deze toepassing, waarbij de planten in feite de rol van een chemische of farmaceutische fabriek overnemen, wordt *molecular farming* genoemd.

13 en 14. Twee proefvelden met tabaksplanten. Op één van de velden staan planten waar resistentie tegen herbiciden is ingebouwd. Deze foto's illustreren het resultaat na het bespuiten van een perceel controleplanten (13) en resistente planten (14).

15. Een rups doet zich te goed aan een sappig blad. In de toekomst lopen deze dieren echter het risico dat deze voedselbron giftig wordt na de inbouw van nieuwe genen.



13



14

Veldproeven

Sommige genetisch gemanipuleerde planten zijn inmiddels al in een volgend produktiestadium gekomen. Met planten die resistent gemaakt zijn tegen herbiciden, insecten en virussen zijn sinds 1987 op beperkte schaal proeven in het open veld gedaan. De eerste resultaten duiden erop dat er geen bijzondere verschillen zijn met de onderzoekresultaten uit het laboratorium. Dergelijke veldproeven zijn strikt gereguleerd. Ze zijn onmisbaar om te kunnen zien hoe deze veranderde gewassen het doen onder de normale omstandigheden van een boerenakker. Ook zijn ze nodig om erachter te komen of de opbrengst van transgene planten vergelijkbaar is met die van bestaande soorten en wat de kwaliteit van het produkt is. Daarnaast moet men ook meer te weten komen over de ecologische aspecten van de introductie van deze gewassen. Bestaat het gevaar dat ingebouwde resistentie kan worden overgedragen op (nauwverwante) onkruiden? Ontwikkelen insecten resistentie tegen de door de planten geproduceerde gifstoffen? Al deze vragen moeten beantwoord worden voordat men gemanipuleerde gewassen op grote schaal kan toepassen.



15

Tot dusver zijn veldproeven nog niet in een stadium aangeland waarbij alle mogelijke risico's kunnen worden ingeschat. Hoewel het verschil tussen transgene planten en hun ouders beperkt is tot één of hooguit enkele erfelijke eigenschappen, worden ze in de publieke opinie vaak als onnatuurlijk, ongewenst en risicovol beschouwd. Dit is grotendeels een gevolg van gebrekkige informatie over nieuwe technologische ontwikkelingen.

De mogelijke toepassingen van de genetische manipulatie van planten zijn in principe onbeperkt, zoals uit het bovenstaande blijkt. In combinatie met klassieke veredelings technieken kunnen op deze manier nieuwe genetische kenmerken in commerciële gewassen in-

gebouwd worden, terwijl ook het gebruik van gevaarlijke bestrijdingsmiddelen kan worden teruggebracht of afgeschaft. Uiteraard zijn er nog veel wetenschappelijke en technische hindernissen die moeten worden overwonnen, maar uiteindelijk zullen vooral economische motieven bepalend zijn voor de veranderingen die wij in traditionele landbouwgewassen zullen aanbrengen. Daarbij is het ook van belang dat er internationale afspraken komen, betreffende de bescherming van transgene planten als industrieel produkt. Nieuwe variëteiten vielen tot voor kort onder het zogenaamde kwekersrecht. Er is echter een duidelijke behoefte om transgene planten onder het octrooirecht te laten vallen.

Literatuur

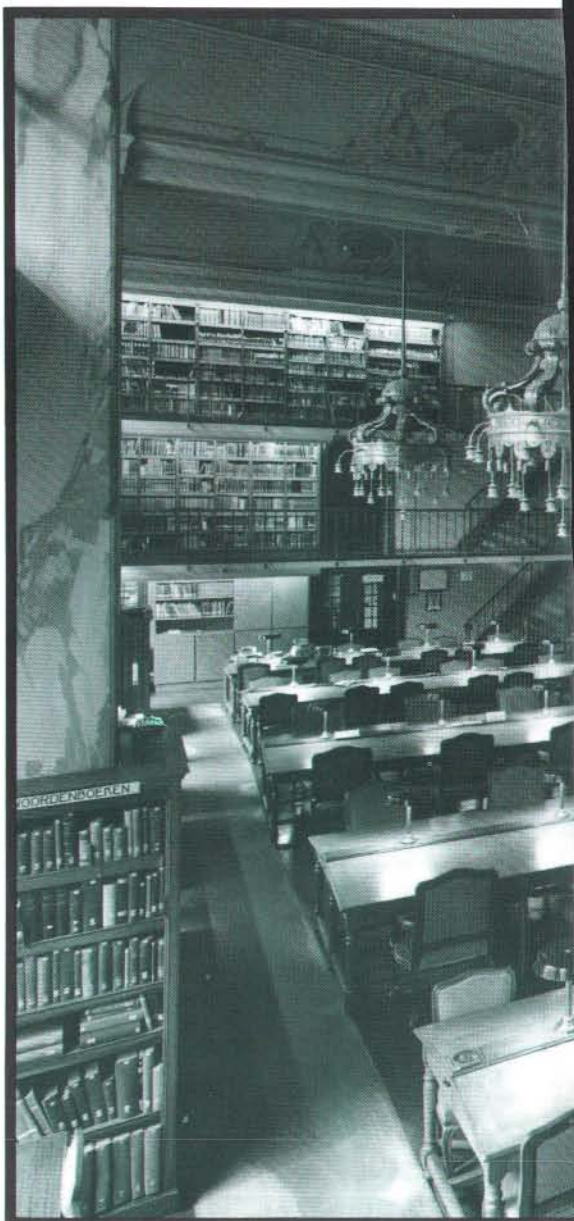
- Antébi E, Fishlock D. Biotechnologie - Een nieuwe industriële revolutie. Maastricht: Natuur en Techniek, 1987.
 Ooms G, Hooykaas PJJ, Wullems GJ, Schilperoort RA. Plantetumoren - Genetische manipulatie door bacteriën. Natuur en Techniek 1981; 49: 9, 696-711.
 Van Vloten-Doting L. Welke risico's kunnen transgene planten opleveren voor het milieu? Biotechnologie in Nederland 1989; 6: 1, 11-13.

Bronvermelding illustraties

- Rhône-Poulenc, Lyon: pag. 378-379, 10.
 Vakgroep Moleculaire Plantkunde, R.U. Leiden: 2.
 Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung, Keulen: 4.
 Calgene, Davis CA: 6 en 7.
 ITAL, Wageningen: 9.
 De overige foto's zijn van de auteur.

KENNIS SYSTEMEN EN

Het idee dat een machine intelligent zou kunnen zijn, is fascinerend, maar ook bedreigend. Is intelligentie immers niet iets, dat voorbehouden is aan enkele diersoorten, of misschien alleen aan mensen? Wijdverbreid is de mening dat een computer alleen kan doen wat een menselijke programmeur hem heeft geïnstrueerd. Toch worden tegenwoordig steeds meer programma's geschreven die computers in staat stellen taken uit te voeren waarvoor intelligentie is vereist. Er komen programma's beschikbaar waarin de kennis en de gedachtestappen van deskundigen op een bepaald terrein zijn vastgelegd. Deze expertsystemen zijn commercieel bruikbare resultaten van het onderzoek naar kunstmatige intelligentie. Programma's voor de besturing van 'kijkende' en 'voelende' robots zijn een goede tweede, waar het gaat om toepassingen van kunstmatige intelligentie.



REDENERENDE MACHINES



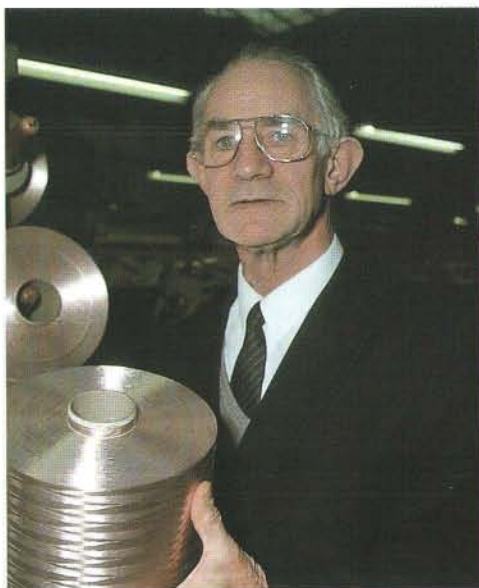
Er zijn twee heel verschillende takken van wetenschap die zich met kunstmatige intelligentie bezighouden: de psychologie en de informatica. De psychologie bestudeert onder meer de manieren waarop mensen problemen oplossen. Zoals in veel vakken, wordt ook in de psychologie steeds meer gebruik gemaakt van wiskundige modellen. Zo zijn er wiskundige modellen ontwikkeld die beschrijven hoe mensen leren. Zo'n model kan, als het heel nauwkeurig is geformuleerd, worden gebruikt als basis voor een computerprogramma. Zo kan een psychologische theorie over leren de basis vormen voor een lerend programma.

In de beginjaren van het gebruik van de computer in de psychologie werden door computers doorgerekende wiskundige modellen van psychologische theorieën vooral gezien als een handige methode om de juistheid van een theorie te toetsen. Met het computerprogramma konden immers snel allerlei gevolgen van de theorie worden vastgesteld en aan de werkelijkheid getoetst. Na enkele jaren groeide echter het besef, dat het computerprogramma ook als doel op zichzelf kon worden gezien. Op die manier ontstond in de psychologie een vakgebied met de ambitieuze naam *kunstmatige intelligentie*. Het uitgangspunt bleef daarbij steeds de manier waarop mensen problemen oplossen.

Onderzoekers in de informatica kozen een heel andere invalshoek. Al tijdens de Tweede Wereldoorlog, toen de eerste computers werden ontwikkeld, zag men in dat een computer niet alleen met cijfers, maar ook met andere symbolen kan omgaan. Informatici probeerden dan ook al snel computerprogramma's te schrijven voor niet-numerieke problemen, bijvoorbeeld voor het oplossen van allerlei puzzels. Het verschil met de psychologische aanpak was daarbij, dat de informatici er niet naar streefden hun computerprogramma's de problemen op dezelfde manier te laten oplossen als mensen het doen. Elke methode die tot een goed resultaat leidde was acceptabel.

Manipuleren met symbolen

Om in te zien, hoe een computer zou kunnen redeneren, is het goed aan de hand van een voorbeeld te bezien wat redeneren eigenlijk is. Stel dat iemand de volgende twee uitspraken doet:



1



2

[1] Alle turpen zijn warkig

[2] Jasl is een turp

U weet niet wat *turpen* zijn en niet wat *warkig* is; evenmin kent u *Jasl*. Toch kunt u uit deze twee uitspraken de conclusie trekken:

[3] Jasl is warkig

Kennelijk is het mogelijk om conclusies te trekken op een kennisgebied, waar u niet meer van weet dan de twee gegeven uitspraken. Uit-

1, 2 en 3. Bij de vezel- en polymerendivisie van AKZO in Arnhem stond de heer J. Kramer op het punt met pensioen te gaan. Hij is een expert die vrijwel als enige alles afweet van de productie van rayongaren, een kunstvezel op basis van de natuurlijke grondstof cellulose. Rayonvezel, in de textielindustrie meer bekend als viscose, blijkt voorlopig onontbeerlijk als versteviging in autoban-

den, vooral als de automobilisten hard willen rijden. In banden voor de Europese markt blijft daarom rayonvezel in gebruik. Alle kennis die de heer Kramer, met een klos rayon op afbeelding 1 geportretteerd, van het productieproces heeft, is nu vastgelegd in een kennisstelsel dat adviezen geeft wanneer zich in het productieproces problemen voordoen.



3

sluitend op grond van de vorm van de beweringen bent u in staat daaruit een nieuwe bewering af te leiden.

Dat de juistheid van een redenering uitsluitend afhangt van zijn vorm, en niet van zijn inhoud, was al aan de Griekse filosofen bekend. Aristoteles gaf al een lijst van geldige redeneerschema's. Dat zijn schema's waarbij uit ware beweringen uitsluitend nieuwe ware beweringen ontstaan. In het redeneerschema dat hierboven staat is het zo dat als [1] en [2] waar

zijn, dat dan ook [3] waar is. Dit schema om vast te stellen dat Jasl warkig is, heet sinds de Middeleeuwen: *Modus Ponendo Ponens*.

Computers kunnen niet alleen razendsnel met getallen rekenen, maar ook met andere symbolen bewerkingen uitvoeren volgens geldige redeneerschema's. Daarmee kunnen computers dus ook redeneren. Ze moeten daarvoor wel beschikken over een verzameling uitspraken van de vorm 'Alle turpen zijn warkig'. Zo'n verzameling noemt men in de kunstmatige intelligentie tegenwoordig een *kennisbank*. Kennis is daarbij gedefinieerd als: datgene waarop redeneerschema's worden toegepast.

De Algemene Probleemoplosser

Rond 1955 hoopten onderzoekers in de psychologie en de informatica dat een algemene redeneermethode voldoende zou zijn om alle denkbare redeneerproblemen op te lossen. Eén van de onderzoeksgroepen noemde het computerprogramma dat ze ontwikkelden zelfs *The General Problem Solver*. De hoop bleek echter ijdel. Voor het oplossen van niet-triviale problemen moest een grote hoeveelheid feiten beschikbaar zijn.

Daarnaast ontstond de moeilijkheid dat zelfs een razendsnelle computer weinig problemen kan oplossen door domweg alle beschikbare redeneerschema's toe te passen op alle beschikbare kennis. Een slimme methode is nodig. De computer zou een methode moeten hebben om te bepalen wanneer hij welk redeneerschema op welke kennis moet toepassen. Zo'n methode noemt men tegenwoordig een *strategie*.

Een strategie kan heel algemeen zijn of heel specifiek. Een voorbeeld van een algemene strategie is de verdeel-en-heersstrategie. Die gaat ervan uit dat een ingewikkeld probleem op te lossen is door het in deelproblemen te splitsen, die elk of oplosbaar, of verder te splitsen zijn. Deze strategie is heel algemeen bruikbaar.

Een voorbeeld van een zeer specifieke strategie is de methode die ervaren puzzelaars volgen bij het leggen van een legpuzzel. Een algemene oplossing bestaat eruit willekeurig twee stukjes te pakken en te proberen of die in één of andere stand aan elkaar passen. Ervaren puzzelaars doen dat niet zo, maar gebruiken gespecialiseerde kennis. Ze weten dat puzzel-

stukjes met een rechte hoek veelal van de hoekpunten van de puzzel afkomstig zijn. Ze zoeken dus vier zulke stukjes. Daarna verzamelen ze de stukjes met een rechte zijde, die immers langs de randen van de puzzel thuishoren. Zo'n strategie kan veel werk besparen, maar werkt niet altijd: er bestaan puzzels waar de hoekstukjes geen, en inwendige stukjes wel rechte hoeken bezitten. Meestal werkt deze specifieke strategie wel, maar zij is natuurlijk alleen nuttig bij het leggen van legpuzzels. Duidelijk is dat het zoeken naar hoekstukjes geen algemene strategie is.

Vooraf specifieke strategieën worden ook wel aangeduid als kennis. Dit geeft aanleiding tot enige verwarring omdat nu twee zaken met

kennis worden aangeduid: zowel de 'ware uitspraken' waarop de redeneerschema's worden toegepast (van het soort 'Alle turpen zijn war-kig') als de methode om vast te stellen wanneer welk redeneerschema op welke 'ware uitspraken' moet worden toegepast.

Kennissystemen

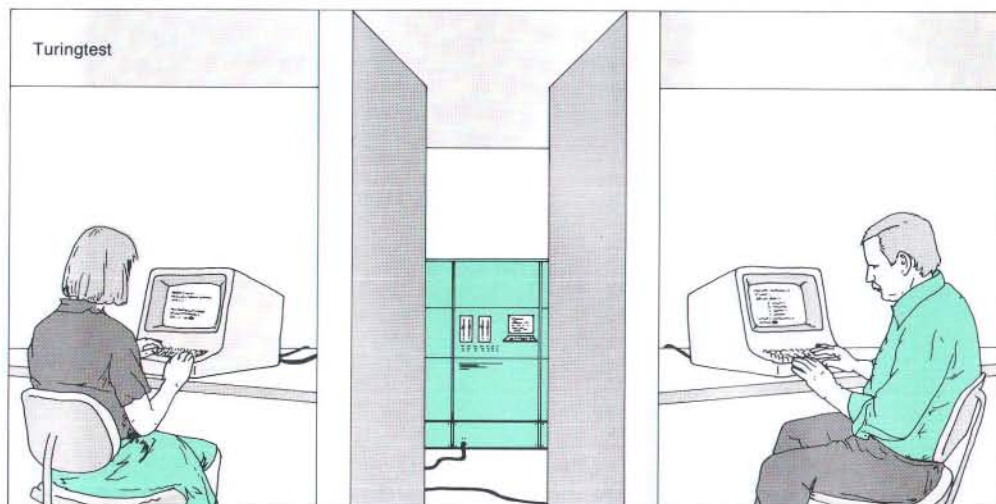
Onder de namen *expert-* of *kennissystemen*, zijn de laatste jaren computerprogramma's op de markt verschenen, waarin met behulp van specifieke strategieën wordt geredeneerd. Om een bruikbaar produkt te verkrijgen blijkt meestal veel kennis nodig. Die kennis verkrijgt men meestal van zeer ervaren deskundigen op

De Turing-test

De Engelse wiskundige Alan Turing heeft in 1950 een test beschreven om vast te stellen of een machine intelligent is. Hij stelde voor het volgende twee-staps experiment voor drie personen en een computer uit te voeren.

In de eerste ronde zitten een man en een vrouw en een derde persoon ieder in een apart kamertje. De man en de vrouw zijn elk via een soort telexmachine met de derde persoon verbonden. Die derde persoon, die we de experimentator zullen noemen, moet

via de telexmachines vragen stellen aan de man en de vrouw en uit hun antwoorden afleiden in welke kamer de man zit en in welke de vrouw. De man moet de experimentator zo goed mogelijk helpen, de vrouw probeert de experimentator zo veel mogelijk te hinderen. Als dat nuttig is voor het bereiken van het doel, mag de vrouw liegen. Als zowel de man als de vrouw de experimentator proberen te helpen, is het experiment natuurlijk snel afgelopen. Als beiden mogen liegen, is het te moeilijk; dan is het voor de



het terrein dat het kennisstelsel zal bestrijken. Die deskundigen worden zo systematisch mogelijk uitgehoord. Een inmiddels beroemd voorbeeld is de kennis over het productieproces van rayonvezel, die voor Akzo aan een expert werd onttrokken die met de VUT ging (afb. 1-3). Dit proces heet *kennisacquisitie*. Algemeen wordt de stroomlijning van dit proces gezien als de belangrijkste voorwaarde om tot een wijde verbreiding van kennisstelselen te komen. De aan deskundigen onttrokken kennis vertalen de programmeurs in door het computerprogramma te gebruiken symbolen. Het vakgebied dat zich met de ontwikkeling van expert- of kennisstelselen bezighoudt, wordt tegenwoordig *kennistechnologie* genoemd.

Kennisstelselen zijn het eerst ontwikkeld voor de geneeskunde. Dat is op het eerste gezicht een geschikt gebied: veel, maar relatief oppervlakkige kennis speelt daar een rol. Toch is, na een aanvankelijk enthousiasme, een zekere teleurstelling te bespeuren, zowel bij de (beoogde) gebruikers als bij de ontwikkelaars van kennisstelselen voor medische toepassingen. De gebruikers zijn van mening dat de bestaande kennisstelselen wel demonstreren hoe een uiteindelijk 'echt' bruikbaar systeem zou kunnen werken, maar vinden dat het huidige kennisniveau ervan voor de praktijk oninteressant is. Op een bepaald gebiedje van de geneeskunde kan een medisch kennisstelsel wel goed functioneren, maar zodra de grenzen van

INTERMEZZO I

experimentator onmogelijk achter de waarheid te komen. Volgens Turing vertoont de vrouw intelligent gedrag als de experimentator er niet binnen 15 minuten achter komt wie achter welke telex zit.

In de tweede ronde speelt de computer de rol van de vrouw. Verder verloopt het experiment op dezelfde manier. Als ook in deze situatie de experimentator er niet achter komt in welke kamer de man zit, en in welke de computer staat, dan, zo vond Turing, heeft de computer zich intelligent gedragen.



Turing zelf geloofde rond 1950 dat nog deze eeuw een machine de Turing-test succesvol zou kunnen doorstaan. De meeste huidige wetenschappers zijn minder optimistisch. Om aan de eis te voldoen moet de computer een grote hoeveelheid alledaagse kennis hebben en kunnen structureren. De hoeveelheid alledaagse kennis die mensen bezitten is zo groot, dat het opslaan daarvan in een computer vooralsnog een bijna hopeloze zaak lijkt.

Er zijn tegen de Turing-test allerlei bezwaren naar voren gebracht, ook van filosofische aard. De Amerikaanse filosoof Searle heeft bijvoorbeeld een gedachtenexperiment beschreven, dat als het *Chinese-kamerexperiment* bekend staat. Stel dat een proefpersoon in een afgesloten kamer zit en via een brievenbus een brief krijgt aangereikt met daarop een vraag in Chinese letters. De proefpersoon kent geen Chinees, maar heeft in de kamer een dik boek, waarin hij of zij kan opzoeken welk antwoord (in Chinese letters) bij elke gestelde vraag hoort. Dat antwoord tekent de proefpersoon na op een briefje en gooit dat door de brievenbus naar buiten. Van de buitenkant gezien, zegt Searle nu, lijkt het alsof de bewoner van de Chinese kamer Chinees begrijpt. Wij weten echter wel beter. Kennelijk kun je intelligentie niet vaststellen op basis van alleen uitwendig gedrag.

Over deze experimenten worden hevige debatten gevoerd. De discussie hierover ontaardt overigens al snel in een spel met woorden. De persoon in de Chinese kamer begrijpt dan misschien wel geen Chinees, maar de kamer als geheel begrijpt wel degelijk Chinees, als je 'begrijpen' definieert als het correct antwoorden op vragen.

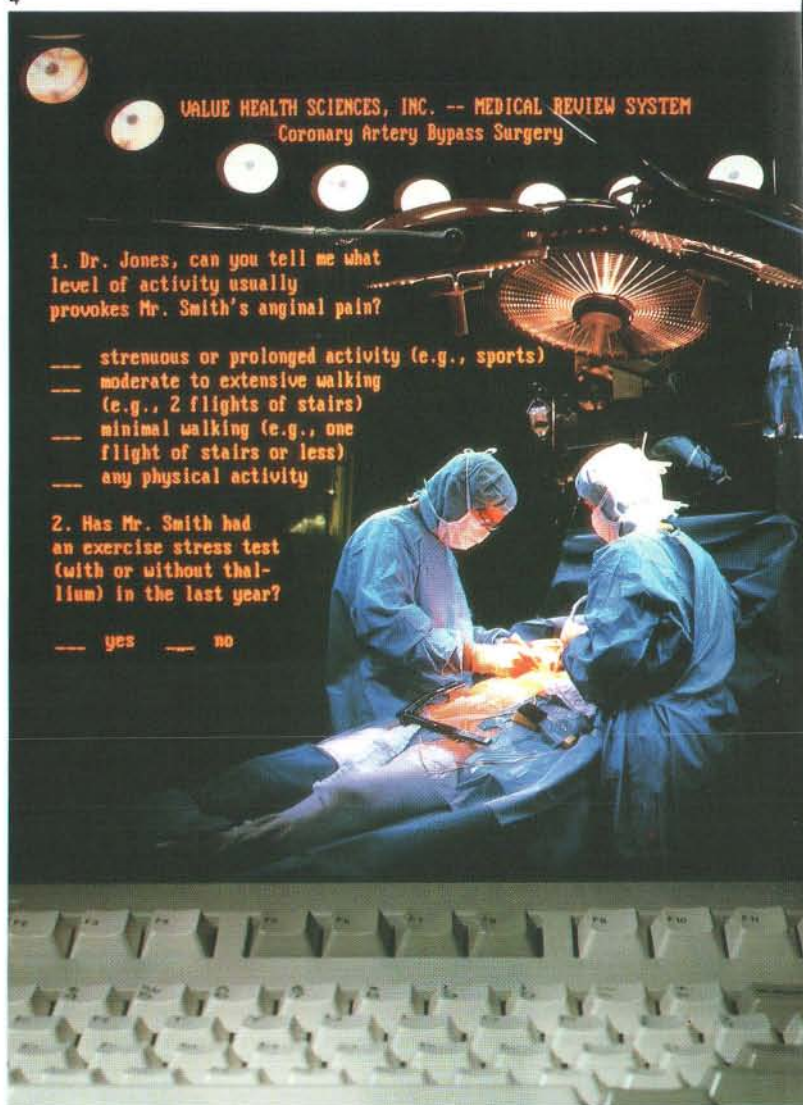
dat gebiedje worden overschreden maakt het systeem grove fouten. De ontwikkelaars menen veelal, dat het invoeren van meer kennis in de systemen geen informatica-probleem is, maar uiteraard thuishoort in de medische wetenschap.

Het bekendste voorbeeld van een medisch kennissysteem is MYCIN. Dit programma werd rond 1974 in de Verenigde Staten op Stanford University ontwikkeld. Het doel van MYCIN is het adviseren van artsen bij de be-

handeling van bacteriële infecties. Hoewel een studie van de kwaliteit van de door MYCIN geleverde adviezen uitwees dat MYCIN op het niveau van een ervaren specialist werkte, wordt dit systeem toch niet in de praktijk gebruikt. Eén reden hiervoor is dat het programma gebruikersonvriendelijk is. Er is een grote computer voor nodig en zelfs dan heeft MYCIN veel tijd nodig om tot conclusies te komen. Veel belangrijker is echter, dat MYCIN alleen maar zinnige uitspraken kan doen op

4. De ziektekostenverzekeraars maken zich zorgen over de sterk stijgende kosten van de gezondheidszorg. De verzekeraars vermoeden dat er veel dure medische ingrepen worden uitgevoerd die voorbarig of, gezien het te verwachten resultaat, niet terecht zijn. De verzekeraars willen nu van te voren grotere invloed op de beslissing een bepaalde operatie uit te voeren. In de VS moet een patiënt voor een ingreep toestemming vragen aan zijn verzekeringsmaatschappij, maar dat was de afgelopen jaren een formaliteit. Voor 36 van de meest voorkomende medische ingrepen is nu een kennissysteem opgezet dat de diagnose van een arts nog eens nagaat. Enkele Amerikaanse verzekeraars proberen het momenteel uit. De patiënt krijgt een aantal vragen te beantwoorden en als het systeem daarna negatief adviseert gaat een arts van de verzekeringsmaatschappij met de behandelende arts praten. Bij één van de proeven vond het systeem dat 22% van de ingrepen niet moesten worden uitgevoerd omdat er goedkopere alternatieve behandelingen waren. Na overleg ging de ingreep in 8% van de gevallen niet door.

4



een heel klein gebied van de geneeskunde en blunders begaat zodra kennis van andere gebieden nodig is. Om een acceptabel medisch kennisstelsel te realiseren, is het nodig veel medische kennis op te slaan, en dat is een moeizaam en tijdrovend proces.

Een oplossing voor dit probleem kan wellicht geboden worden door het ontwikkelen van methoden van kennisacquisitie die wezenlijk minder tijdrovend en omslachtig zijn dan het nu gebruikelijke interviewen van experts en vastleggen van hun kennis. Het gebruik van machinaal leren (Intermezzo II) is ook een mogelijk methode van kennisacquisitie; gebruik van al in de literatuur vastgelegde kennis is een andere. Op deze terreinen wordt, ook in Nederland en België, onderzoek verricht.

Kennisrepresentatie

Bij het opzetten van een kennisstelsel is kennisverwerving de eerste stap; de volgende is het omzetten van die kennis naar de door het kennisstelsel te gebruiken symbolen. Ook op dit gebied liggen er interessante problemen.

Het geschikt kiezen van een symbolische voorstelling van de kennis is van groot belang. In vakjargon spreekt men dan van het kiezen van een geschikte *kennisrepresentatie*. Dit laat zich illustreren aan een simpel voorbeeld. Het delen van twee getallen van vijf cijfers is een kunstje, dat op de basisschool wordt onderwezen. Dank zij onze geschikte representatie in de Arabische cijfers is dat een eenvoudige zaak. Als u hetzelfde probeert te doen met Romeinse cijfers, zult u ontdekken dat dat veel moeilijker is. Dat komt niet alleen doordat u met Arabische cijfers veel meer ervaring heeft dan met Romeinse; het is wezenlijk moeilijker om in de Romeinse-cijfer-representatie te rekenen. Moet u delen en hebt u de keuze tussen het werken in Romeinse of Arabische cijfers, dan zult u dus de Arabische kiezen.

Het geschikt kiezen van een kennisrepresentatie is voor een kennisstelsel van groot belang, ook al vanwege de prijs. Een representatie die toelaat veel te zeggen, is door de benodigde rekentijd van de dikwijls grote computer kostbaar in gebruik. Er wordt dan ook altijd geprobeerd een representatie te kiezen, die net voldoende uitdrukingskracht heeft.

Een ander belangrijk probleem is het organiseren van de kennis. De meeste huidige ken-

nissystemen bevatten zeer bescheiden hoeveelheden kennis, bijvoorbeeld 500 regels van het Jasl-type. Verwacht wordt, dat toekomstige kennisystemen vele orden van grootte meer kennis zullen bevatten. Dat vereist een goede organisatie van die kennis, zodat niet bij elke redenering alle beschikbare kennis behoeft te worden langsgelopen om te zien of die misschien van toepassing is. Op dit gebied heeft de kennistechnologie raakvlakken met de bibliotheekwetenschappen, die een lange traditie hebben op het gebied van het organiseren van grote collecties kennis.

De rol van hardware

Er heerst verdeeldheid over de vraag of kunstmatig-intelligente programma's moeten draaien op speciaal daarvoor ontwikkelde rekenapparatuur. In de jaren zeventig maakten speciale computers voor kunstmatige-intelligentietoepassingen, de zogenaamde LISP-machines, furore. Tegenwoordig zijn de meeste onderzoekers van mening, dat gewone computers bruikbaar zijn voor toepassingen van kunstmatige intelligentie. Wel is het zo, dat voor onderzoek op dit terrein de computers nooit snel genoeg kunnen zijn. Parallele computers, die een groot aantal bewerkingen binnen één programma tegelijkertijd kunnen uitvoeren, zijn de machines waarop de ontwikkelaars van kunstmatig-intelligente programma's hun hoop hebben gevestigd.

De laatste jaren is er een nieuw gebied van wetenschappelijk onderzoek naar kunstmatige intelligentie ontstaan. Onder het vaandel *kunstmatige neuronale netwerken* proberen onderzoekers de werking van de menselijke hersenen in computer-hardware na te bootsen. De reden daarvoor is dat de architectuur van de huidige computers zich slecht lijkt te lenen voor het snel uitvoeren van een groot aantal, sterk op elkaar lijkende bewerkingen. Dat soort bewerkingen speelt onder andere een belangrijke rol bij het kijken, dus bij het interpreteren van beelden. De behoefte aan een goed kennisacquisitiesysteem is een tweede reden om bij de menselijke hersenen te rade te gaan. Mensen verwerven immers kennis door te leren. De hoop van de onderzoekers, de 'neuronale netters', is dat zelflerende programma's het gewenste gedrag van kunstmatige neuronen kunnen leren.

Creatieve machines?

Sommige mensen vinden dat *creativiteit* een wezenlijk onderdeel is van intelligentie. Omdat een computer alleen kan doen wat een programmeur hem heeft geïnstrueerd, zou volgens hen een computer nooit intelligent gedrag kunnen vertonen. De voor een computer maximaal bereikbare intelligentie zou die van nabootsing van zijn leermeester zijn.

Die mening komt echter op losse schroeven te staan, nu er steeds meer programma's worden geschreven die computers vertellen hoe ze hun eigen kennis moeten uitbreiden en structureren. Iedere keer als zo'n systeem een probleem krijgt voorgelegd dat het nog niet eerder heeft opgelost, legt het vast hoe de oplossing

uiteindelijk tot stand is gekomen. Dit moet als gevolg hebben dat een volgend soortgelijk probleem makkelijker oplosbaar is. Het programma kan dus procedures uitbreiden en moet daartoe aan zijn eigen programma regels toevoegen, wat principieel iets heel anders is dan het zelf uitbreiden van de gegevensbestanden, wat computerprogramma's al heel goed kunnen.

In het voorbeeld van het integralen oplossende en tegelijkertijd lerende programma

5. De bibliotheek is het schoolvoorbeeld van een kennisbank. De omvang van kennissystemen benadert bij lange na nog niet

de hoeveelheid kennis die in de soms miljoenen banden in bibliotheken ligt opgeslagen.

Machinaal leren

Het vergaren van de vele kennis die voor expertsystemen nodig is, vormt een belangrijke belemmering voor het op grotere schaal toepassen ervan. Eén van de mogelijkheden om die belemmering uit de weg te ruimen is volgens sommige onderzoekers om machines zelf te laten leren.

Machinaal leren is het putten van nieuwe kennis uit voorbeelden. Om een voorbeeld te geven: in veel ziekenhuizen worden tegenwoordig patiëntgegevens opgeslagen in grote gegevensbestanden. Er zijn computerprogramma's die de gegevens kunnen analyseren, en mogelijk nieuwe medische kennis kunnen opsporen. Dit soort programma's is momenteel druk in ontwikkeling.

Een voorbeeld van deze aanpak is het RADIX-project van Stanford University. Hierin wordt een grote verzameling van gegevens van reumapatiënten gebruikt. Een kennissysteem met kennis van de statistiek en van een deel van de geneeskunde 'verzint' medisch interessante vraagstellingen, bijvoorbeeld: heeft geneesmiddel X een gunstige invloed op de ziekte van patiënten van type Y? Het programma stelt bovendien een plan op voor een statistisch onderzoek van de patiëntgegevens, waarmee die vraag kan worden beantwoord. Dat statistisch onderzoek wordt daarna, nog steeds automatisch, door het systeem uitgevoerd.

Het RADIX-experiment heeft enkele medisch interessante resultaten opgeleverd, maar de methode heeft zijn beperkingen. Eén daarvan komt voort uit de geringe kwaliteit van veel medische gegevens; het

is moeilijk uit foutieve gegevens te leren. Een ander probleem is de geringe variatie in gegevens: op elk moment is er voor een bepaald soort patiënt een 'beste' behandeling, die dan ook door alle artsen wordt gegeven. Daarmee wordt het onmogelijk te achterhalen wat het effect van een andere behandeling zou zijn geweest. Een laatste beperking van deze aanpak is tenslotte dat de vergaarde kennis weinig inzichtelijk is, en in feite niet meer is dan: bij deze patiënten blijkt een effect op te treden.

Een nog veel fraaiere vorm van machinaal leren wordt toegepast in het LEX-project. De doelstelling daar is het leren van de 'trucs' die nodig zijn bij het oplossen van ingewikkelde integralen. Integreren is op zich immers niet moeilijk; er zijn maar een zeer beperkt aantal mogelijke handelingen, die op een integraal kunnen worden toegepast. Het probleem is om te weten welke handeling leidt tot het bereiken van het gewenste doel, en welke de zaak alleen maar ingewikkelder maakt.

Het fraaie van het LEX-programma is, dat dit programma zich zelf opgaven stelt en vervolgens probeert die op te lossen, met gebruikmaking van alle methoden waarover het beschikt. Blijkt één van de methoden succesvol te zijn, dan probeert LEX vast te stellen of de klasse van problemen waarvoor deze methode succesvol is, kan worden uitgebreid.

Om een (vereenvoudigd) voorbeeld te geven: Stel dat LEX beschikt over partieel integreren als één van zijn methoden voor integreren, en dat LEX zichzelf als opgave heeft gesteld: bepaal



5

INTERMEZZO II

$$\int x \cdot \sin(x) \cdot dx$$

Partieel integreren met $u = x$ en $dv = \sin(x) \cdot dx$, en dus $du = dx$ en $v = -\cos(x)$ lukt dat in dit geval goed. LEX onthoudt nu, dat voor integralen van deze vorm de methode van partieel integreren goed werkt, maar gaat nog verder. LEX probeert ook vast te stellen of diezelfde methode werkt voor een generalisatie van het probleem, bijvoorbeeld voor

$$\int f(x) \cdot \sin(x) \cdot dx$$

Om dat te kunnen doen, heeft LEX kennis ingebouwd gekregen over een hiërarchie van wiskundige uitdrukkingen, bijvoorbeeld: $f(x)$ is algemener dan $\text{trig}(x)$, dat weer algemener is dan $\sin(x)$, dat weer algemener is dan $\sin(3)$.

LEX probeert nu voor elk van de hem bekende methoden van integreren vast te stellen wat de meest algemene uitdrukking is, waarvoor die methode met succes kan worden toegepast.

In de loop van de tijd wordt LEX steeds slimmer, in de zin dat LEX van steeds meer integraalvormen weet hoe ze moeten worden aangepakt. Helaas is de LEX-aanpak alleen bruikbaar in domeinen, waar eenvoudig is vast te stellen, dat een gevonden oplossing correct is (in dit geval, door de gevonden integraal te differentiëren: differentiëren is namelijk wezenlijk eenvoudiger dan integreren).

LEX (Intermezzo II) heeft de programmeur de computer geïnstrueerd hoe experimenten moeten worden uitgevoerd en hoe de resultaten daarvan moeten worden opgeslagen. Die programma-instructies liggen op een geheel ander niveau dan de kennis over het oplossen van integralen die LEX in zijn overpeinzingen afleidt. Het is zelfs denkbaar, dat de programmeur nauwelijks weet hoe integralen moeten worden opgelost.

Zoals een computerprogramma, dat op een bepaald gebied vragen goed beantwoordt, intelligent genoemd zou kunnen worden, zo zou een programma dat problemen oplost waarvan zijn programmeur niet weet hoe ze moeten worden opgelost, creatief genoemd kunnen worden.

Literatuur

Een filosofische inleiding over kunstmatige intelligentie is: Boden M. *Artificial Intelligence and Natural Man*. New York: Basic Books; 1977. ISBN 0-465-00453-9.

Een informele geschiedenis staat beschreven in: McCurdock P. *Machines who think*. San Francisco: W.H. Freeman; 1979. ISBN 0-7167-1135-4.

Een eenvoudige inleiding tot het vakgebied is: Aleksander I, Burnett P. *Thinking machines. The search for artificial intelligence*. New York: Alfred A. Knopf; 1987. ISBN 0-394-74459-4

Een veel technischer inleiding is: Charniak E, McDermott D. *Introduction to Artificial Intelligence*. Reading, MA: Addison-Wesley; 1985. ISBN 0-201-11945-5.

Voor al over de logische grondslagen gaat: Genesereth MR, Nilsson NJ. *Logical foundations of Artificial Intelligence*. Los Altos, CA: Morgan Kaufman; 1987. ISBN 0-934613-31-1.

In augustus 1989 verschijnt het Nederlandstalige leerboek: Mars NJI. *Kennistechnologie*. Schoonhoven: Academic Service; 1989.

Bronvermelding illustraties:

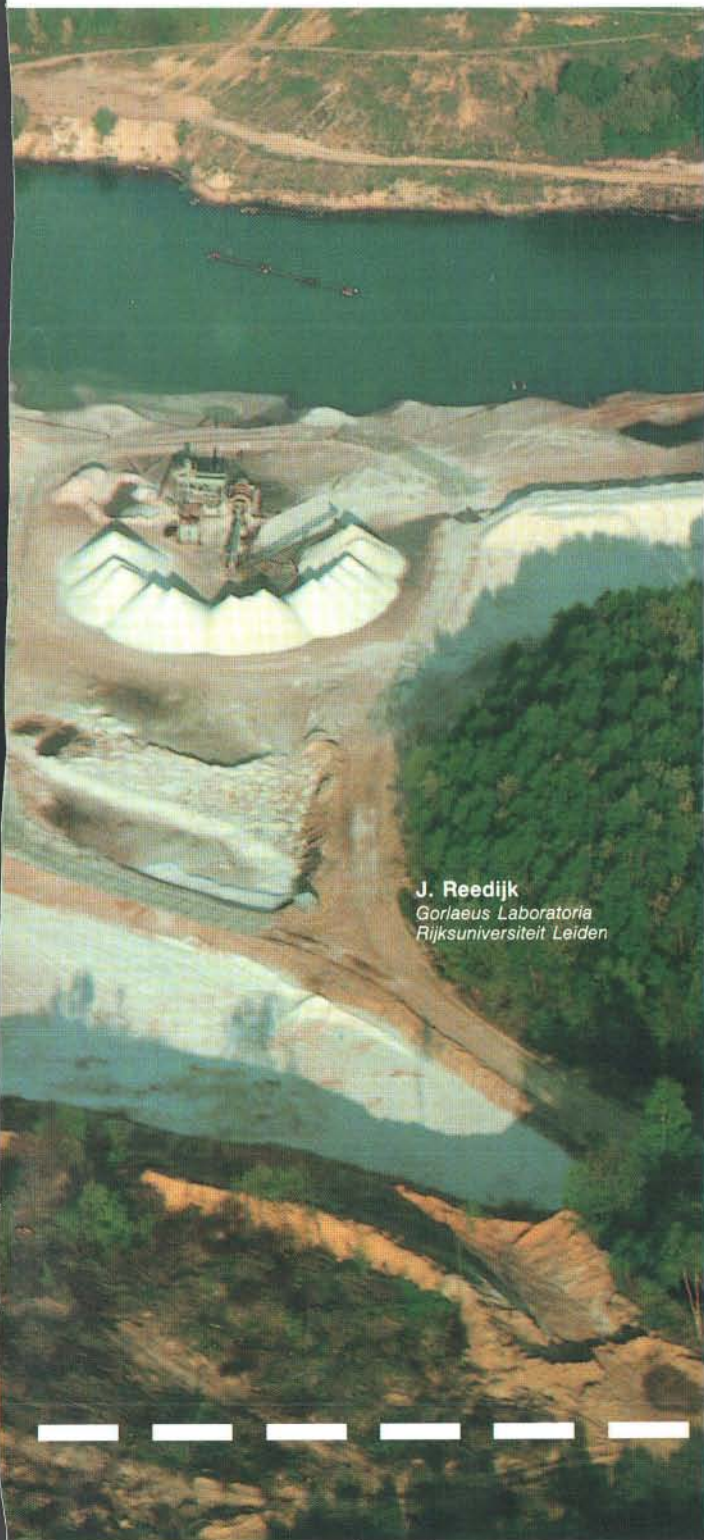
Koninklijke Bibliotheek, Den Haag: pag. 388-389, 5
AKZO, divisie vezels en polymeren, Arnhem: 1, 2, 3
Roger Ressmeyer, ABC, Amsterdam: 4



Silicium

het aardse element

Een zilverzandgroeve in de buurt van de Limburgse plaats Heerlen. Zilverzand bestaat voor 98% uit zuiver kwarts (SiO_2) en is een uitstekende grondsoort voor de betere glassoorten.



J. Reedijk
Gorlaeus Laboratoria
Rijksuniversiteit Leiden

De aardkorst bestaat voor 28 gewichtsprocent uit silicium, dat daarmee na zuurstof het meest voorkomende element is. Zand, kleien en allerlei mineralen bevatten silicium. De mens leerde al vroeg er gebruik van te maken bij het vervaardigen van aardewerk en van glas. In latere eeuwen kwam daar het gebruik bij in beton, polymeren, katalysatoren, halfgeleiders, zonnecellen en chips.

Silicium heeft ook een biologische functie, al is die nog nauwelijks begrepen. Een mens bevat gemiddeld 15 gram van het element. In planten zorgt siliciumdioxide (SiO_2) in ieder geval voor versteviging; de as van sommige plantensoorten bevat meer dan 50% SiO_2 .

In dit artikel komt het gebruik van het element silicium en zijn verbindingen aan de orde.

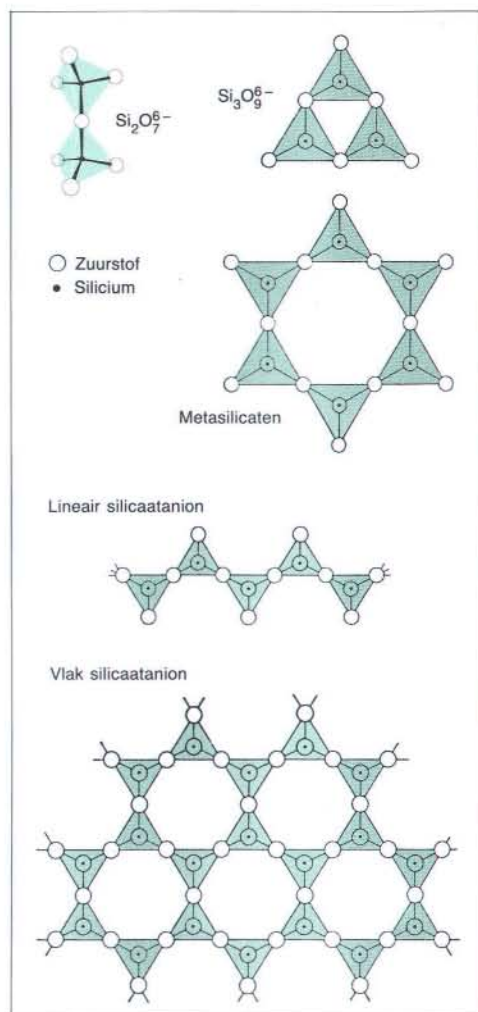
Vele toepassingen zijn eeuwenoud, andere, zoals die in de energieomzetting en de informatietechnologie, zijn zeer modern.

Silicium komt in de aardkorst vrijwel alleen voor in de vorm van oxiden die in het algemeen met de naam *silicaten* worden aangeduid, wanneer ze als anion aan metaalionen zijn gebonden. De naam silicium is afgeleid van het Griekse *silicis*, dat *harde steen* betekent. Alle mineralen in gesteenten en hun erosieproducten zand en klei bevatten silicaten.

In de mineralen komt silicium voor in basis-eenheden SiO_4^{2-} die op een aantal verschillende manieren aan elkaar gekoppeld kunnen zijn doordat de eenheden zuurstofatomen kunnen delen. Tussen die eenheden liggen de kationen die voor compensatie van de lading zorgen, zodat de formules als $\text{Kat}_x\text{Si}_y\text{O}_z$ kunnen worden weergegeven. De eenvoudigste structuren vinden we bij de orthosilicaten zoals Be_2SiO_4 , die we opgebouwd denken uit kationen (Be^{2+}) en de anionen SiO_4^{2-} . De structuren van deze anionen zijn fraai symmetrisch en in één of twee dimensies uitgestrekt (afb. 1).

Bij een driedimensionale ordening van de SiO_4 -tetraëders ontstaan stoffen met de brutoformule SiO_2 , waarin de basiseenheden alle vier de zuurstofatomen met andere siliciumatomen delen en waarvan veel verschillende vormen bestaan. Het bekendste mineraal met brutoformule SiO_2 is waarschijnlijk kwarts, maar er zijn meer, zoals *kristoballiet* en *tridymiet* met andere kristalstructuren. Van de enorme voorraad silicaten in de natuur zijn de zware-metaalzouten als halfedelstenen bekend: agaath, amethist en bergkristal zijn spreken voorbeelden.

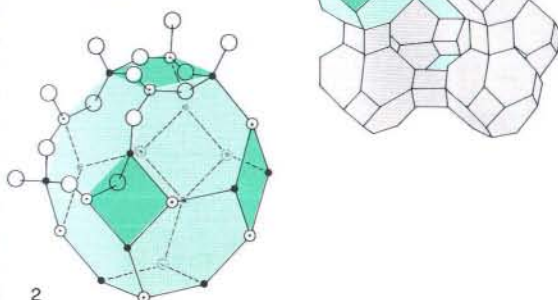
In de natuur, maar ze worden ook kunstmatig gemaakt, komt daarnaast een belangrijke groep mineralen voor met verbindingen waarin een deel van het silicium vervangen is door aluminium. De hele aardkorst bestaat voornamelijk uit silicium- en aluminiumoxiden. Van het gewicht van de aardkorst is ongeveer 28% silicium, 8% aluminium en 35% zuurstof. Van de natuurlijke aluminium-siliciummaterialen is veldspaat het bekendst. Hele rotsen bestaan er uit; hun brutoformule is KAlSi_3O_8 . Synthetische silicium-aluminiumverbindingen zijn de zeer belangrijke *zeolieten* of moleculaire zeven. Daar bestaan vele varianten van met de algemene formule $\text{M}_{x/n}[(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y] \cdot (\text{H}_2\text{O})_z$. Hierin is M een metaalion met lading $n+$. De waarden van x , y en z kunnen enorm variëren en bepalen de eigenschappen van de zeoliet. Afhankelijk van de verhouding tussen y en x



1

Structuur van een zeoliet

- Zuurstof
- Silicium
- Aluminium



2

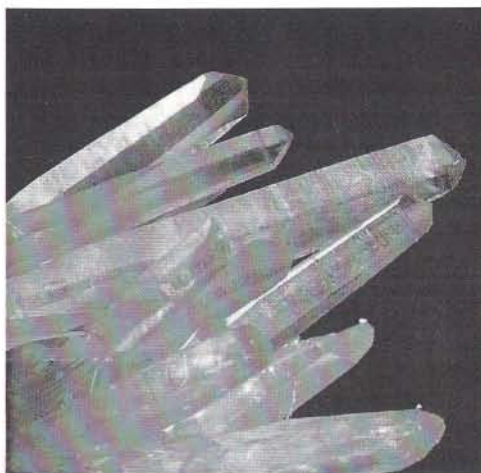
1. SiO_2 -eenheden kunnen op verschillende manieren aan elkaar koppelen. Door één of meerdere zuurstofatomen gemeenschappelijk te hebben, ontstaan verbindingen met verschillende brutoformules. De natuurlijke mineralen onderscheiden zich onder andere door de manier waarop SiO_2 erin gegroepeerd is. Het siliciumatoom ligt steeds binnen een tetraëder waarvan vier zuurstofatomen de hoekpunten vormen. Alleen bij $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$ is deze structuur ruimtelijk getekend. Bij de andere structuren zien we steeds het centrale siliciumatoom precies voor één van de vier zuurstofatomen liggen.

2. Een zeolietstructuur. Eén van de hoekbollen is linksonder vergroot weergegeven, zodat het netwerk van silicium-, aluminium- en zuurstofatomen kon worden afgebeeld. In de structuur rechtsboven zijn de zuurstofatomen weggelaten; de lijnen representeren dus geen bindingen.

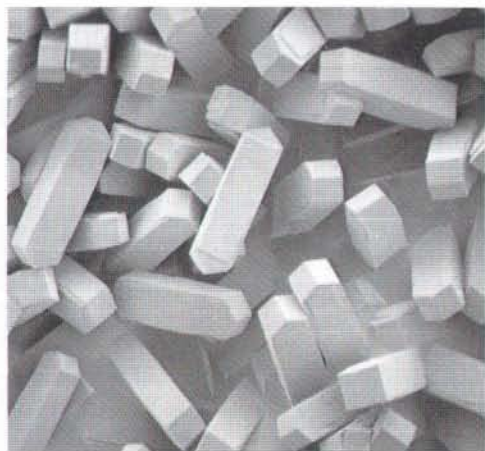
3. Bergkristal bestaat uit vrijwel zuiver siliciumdioxide.

4. Kristalletjes van een synthetische silicaliet, een stof die wel een zeolietstructuur heeft, maar geen aluminium bevat.

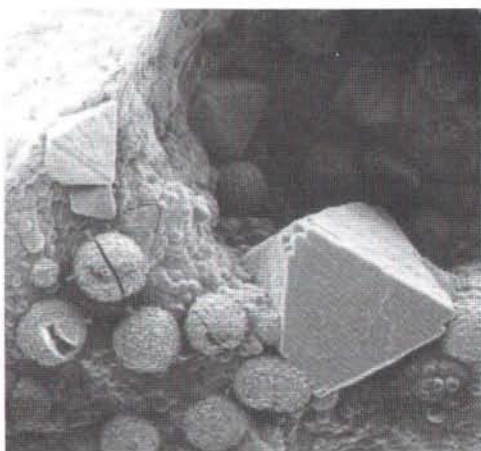
5. Kristalletjes van het natuurlijk zeoliet fausiet.



3



4



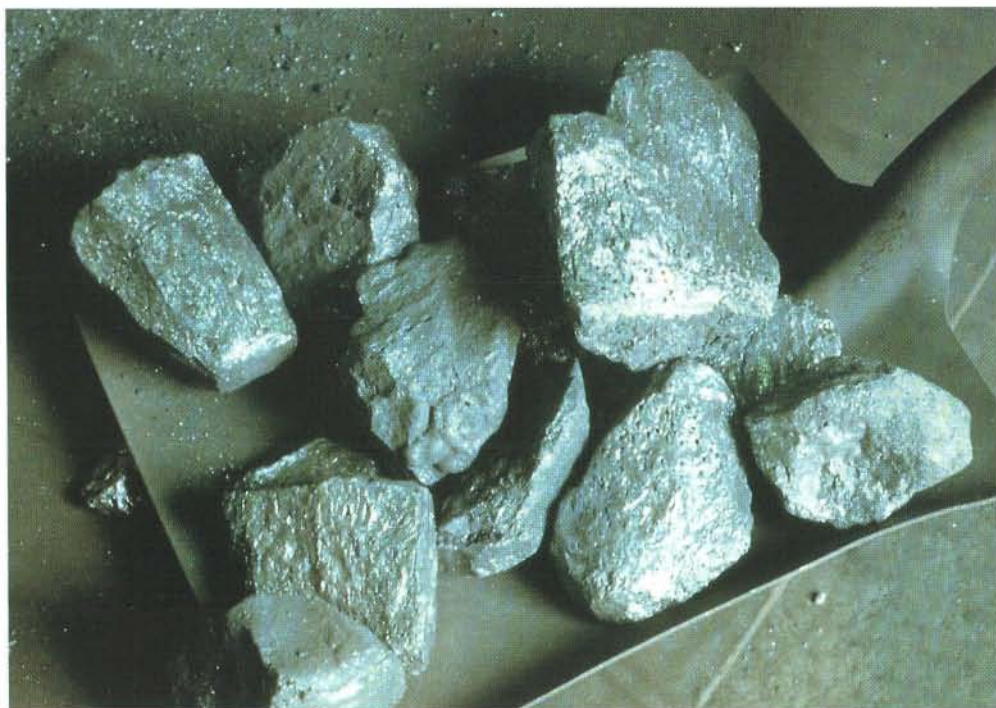
5

spreeken we van zeoliet A ($y/x=1$), X ($y/x=1,5$), Y ($y/x=3$), van mordeniet ($y/x=5$) en van ZSM-5 ($y/x>11$). Zeolieten worden gebruikt als katalysatoren en als moleculaire zeven. Ze zijn zo aantrekkelijk omdat ze in hun kristallen holten hebben waarvan de grootte varieert met het metaalion en de verhouding tussen x en y, terwijl ook nog een moleculaire 'matrijs', bestaande uit organische aminen, bepalend is voor de vorming van de holten en poriën. De chemische industrie verbruikt per jaar grote hoeveelheden zeolieten, de jaarproductie ligt rond de 800 000 ton.

Ingewikkelde silicaatstructuren vinden we verder in kleien, bijvoorbeeld met brutofor-

mules als $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ voor kaolinit. In kleien, die in feite bestaan uit verweerde mineralen met deeltjes $< 0,01$ mm en die in samenstelling variëren, komen daarnaast de ionen Mg^{2+} en Ca^{2+} veel voor. Ook zand bestaat grotendeels uit silicaten, alleen zuiver kwarts of zilverzand heeft als formule SiO_2 .

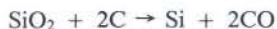
Silicaten worden over de hele wereld gewonnen als grondstof voor uiteenlopende producten als cement en glas. Kwarts is natuurlijk bekend uit de kwartshorloges waarin een kristalletje, onder elektrische spanning gezet, een frequentie afgeeft waarvan het aantal trillingen per seconde constant genoeg is om als basis



6

voor de tijdmeting te dienen. Kwarts wordt evenwel vooral benut om er elementair silicium van te maken, waarvan 3 à 4 miljoen ton per jaar wordt geproduceerd. De helft ervan wordt gebruikt in de aluminiumindustrie om er aluminium mee te legeren. Van de rest maakt men voornamelijk siliciumverbindingen. Een relatief kleine hoeveelheid, 5000 ton, gaat naar de halfgeleiderindustrie voor de fabricage van elektronica-componenten.

Kwarts moet gereduceerd worden om silicium te verkrijgen. Dit doet men met cokes in een lichtboogoven bij een temperatuur van 2000°C.



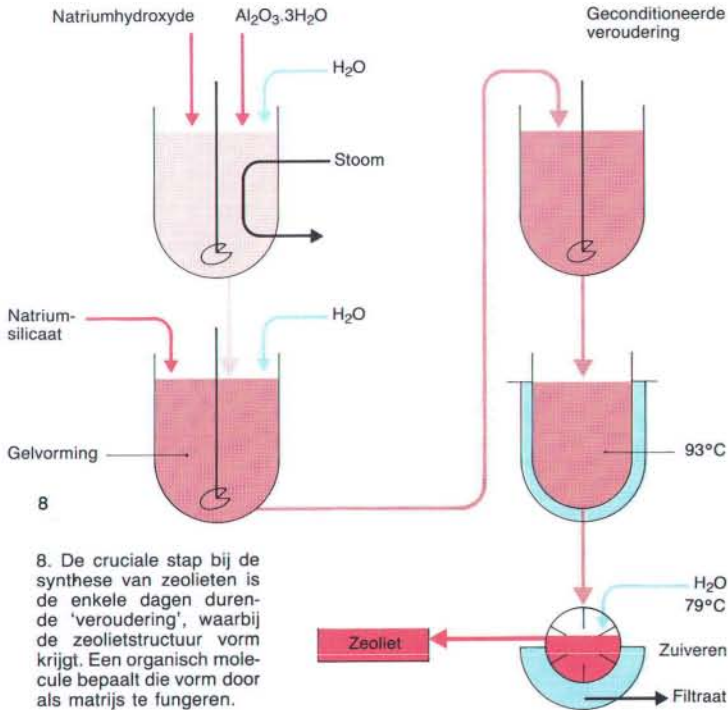
Hierbij ontstaat vrij onzuiver silicium dat voor de meeste toepassingen bruikbaar is. De staalindustrie gebruikt het voor de bereiding van ferrosilicium en de aluminiumindustrie als legeringsprodukt om de giet eigenschappen te verbeteren. Zuivering van ruw silicium vindt plaats door een reactie met HCl bij 300°C, gevolgd door een reductie met waterstof bij 1000°C. Als tussenprodukt ontstaat daarbij

6 en 7. Ongeveer de helft van de wereldproductie silicium gaat naar de aluminiumindustrie. Die verwerkt het als legeringsmiddel om de giet eigenschappen van aluminium te verbeteren. Op de schop liggen blokken ruw silicium. Aluminium wordt in vloeibare vorm door elektrolyse uit bauxiet gewonnen (7).

9 en 10. Chemische tuinen ontstaan als wateroplosbare metaalzouten aan een oplossing van natriumsilicaat (waterglas) worden toegevoegd. Op de buitenkant van de kristalletjes slaan onmiddellijk metaalsilicaten neer, die echter wel water doorlaten. Op één plaats barst de mantel dan open en er komt wat opgelost metaalzout naar buiten, waaromheen zich onmiddellijk weer een metaalsilicaatmantel vormt. Dit proces herhaalt zich en er ontstaan draadvormige structuren.

7





SiHCl_3 dat afgescheiden kan worden. Deze zuiveringen zijn nodig voor de bereiding van zogenaamd halfgeleidersilicium dat wordt gebruikt in zonnecellen en chips. Zuiver silicium heeft dezelfde structuur als diamant, maar is veel zachter.

Chemische tuinen

De meeste silicaten lossen zeer slecht in water op. In zeewater vinden we bijvoorbeeld maar 5 ppm silicium. In basisch milieu zijn silicaten, afhankelijk van de aanwezige kationen, vaak wel goed oplosbaar. De kiezelzuren, waarvan H_4SiO_4 het eenvoudigste is, zijn alleen stabiel in een zure oplossing, bij een pH van ongeveer 3. Bij hogere pH hydrolyseren ze en vormen silicaatpolymeren. Bij $\text{pH} = 7$ is slechts 100 ppm kiezelzuur in oplossing.

Ondanks de slechte oplosbaarheid wordt er op aarde in absolute zin zeer veel silicium getransporteerd, domweg omdat er zoveel van is. Zo komt er per jaar 10^{12} ton uit gesteente geërodeerd silicium via rivieren in de oceanen terecht. Dit is ongeveer honderdmaal zoveel als

er koolstof in de vorm van koolstofdioxide uit de biosfeer in de oceanen wordt opgenomen.

Waterglas is een als lijm en vulmiddel veelgebruikte oplossing van silicaten met de verhoudingsformule $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, waarin n varieert tussen 2 en 4. De oplossing bevat in wezen polymeren van silicium en zuurstof. Verderop in dit artikel zullen we meer polymeren van die twee elementen bespreken, de *siliconen*. Men maakt waterglas door Na_2SiO_3 te smelten en het resulterende glasachtige produkt door koken onder hoge druk (150°C , 5 atm) in water op te lossen.

Silicagel $\text{SiO}_2(\text{H}_2\text{O})_n$ is bekend als droogmiddel. Er wordt vaak een beetje kobaltchloride (CoCl_2) aan toegevoegd. Het droge materiaal kleurt dan blauw en het natte rose.

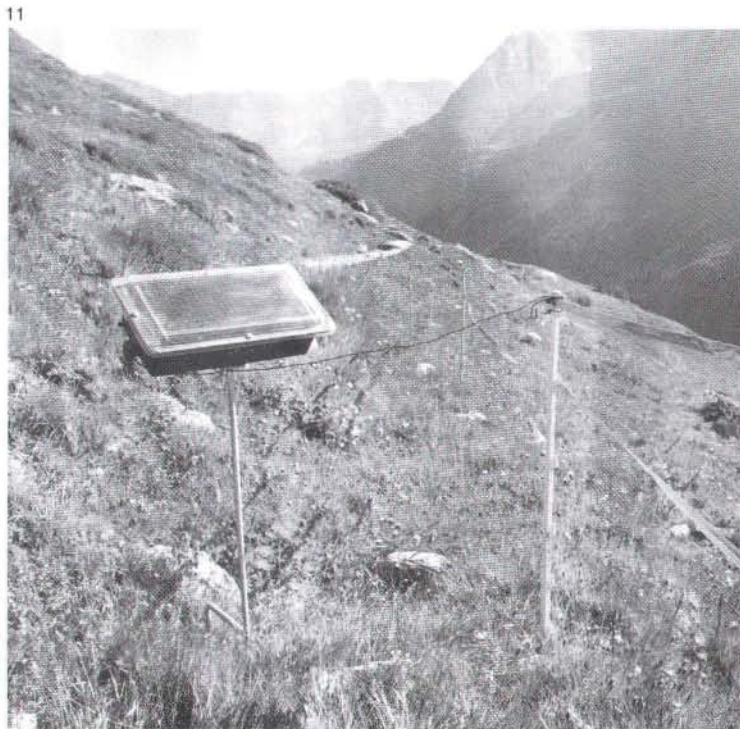
Silicium staat in het periodiek systeem evenals koolstof in de vierde hoofdgroep, maar één periode hoger. Silicium kan net als koolstof door binding met zichzelf lange ketens vormen. Dan ontstaan de *silanen*, met de algemene formule $\text{Si}_n\text{H}_{2n+2}$. Silanen zijn analoog aan de koolwaterstoffen ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$), maar ze zijn niet zo stabiel als hun koolstofverwanten. Sila-

nen zijn zeer gevoelig voor oxidatie en hydrolyse. De verdere overeenkomsten tussen het gedrag van beide elementen is ook niet groot: in tegenstelling tot koolstof kan silicium bijvoorbeeld onderling geen dubbele en driedubbele bindingen vormen. Wel wordt nog een soort ethers met de formule $\text{Si}(\text{OR})_4$ gemaakt, R is daarin een alkylgroep. Deze stoffen worden gebruikt voor de oppervlaktebehandeling van glas; er treedt eerst reactie op met de vrije SiOH-groepen op het glasoppervlak, waarbij de alkylgroepen aan het glas binden. Daarna kunnen nog chemische veranderingen aan de alkylgroepen worden uitgevoerd. Bereiding van silanen gebeurt door zuren met Mg_2Si te laten reageren, of door reductie van siliciumhalogeniden, zoals Si_2Cl_6 , met NaBH_4 .

Toepassingen

Het element silicium wordt toegepast in de staal- en de aluminiumindustrie, waarbij meestal nog wel 2 tot 10% verontreinigingen in het produkt mogen zitten. Bij gebruik als halfgeleider en in zonnecellen is extreme zuiverheid

11. Op een Zwitserse alpenweide houdt door zonnecellen geleverde elektrische stroom schrikdraad op spanning. Dit soort toepassingen is mogelijk omdat het rendement van zonnecellen van amorf silicium het laatste decennium enorm is toegenomen.

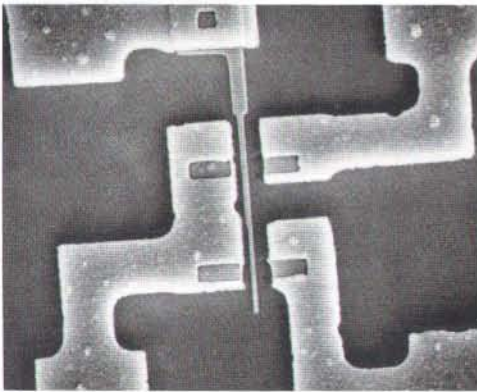




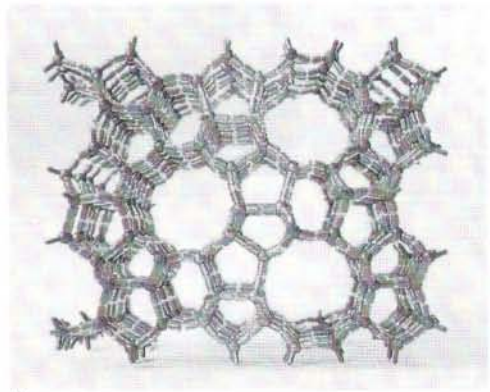
12

12 en 13. Wie aan silicium denkt, denkt aan chips. Dat ligt voor de hand omdat de halfgeleiderindustrie steeds voor nieuwe doorbraken zorgt. Toch wordt maar een zeer gering deel (ruim 10^{-3}) van de wereldproductie aan silicium voor de chipfabricage gebruikt. Onderzoek en fabricage vinden plaats in zeer stofvrije ruimten (12). De structuren die op chips kunnen worden aangebracht worden nog steeds kleiner (13). Op de foto een experimentele schakeling van twee geïntegreerde MOS-transistoren. De dunne naald in het midden is de gezamenlijke poort, met dikten van 0,5 respectievelijk $0,4 \mu\text{m}$.

14. Model van zeoliet waaraan duidelijk is te zien dat het kristalrooster grote holten heeft.



13



14

meestal van groot belang. Toevoeging van 0,1 tot 1 ppm boor (B) of fosfor (P) verlaagt de elektrische weerstand bijvoorbeeld al met een factor 100 tot 1000. Sporen van die elementen worden vaak met opzet toegevoegd om gewenste eigenschappen aan het materiaal te geven, maar dan moeten de fabrikanten er natuurlijk wel van op aan kunnen dat er in het

uitgangsmateriaal niet al storende elementen aanwezig zijn. Voor toepassingen in halfgeleiders moet silicium in monokristallijne vorm zijn. Die wordt verkregen uit een smelt. Het gecontroleerd toevoegen van elementen als boor en aluminium, als elektronenacceptor, of van fosfor, arseen en antimoon, als elektrolendonor, gebeurt tijdens de synthese of in de

smelt. Het gebruik van silicium in zonnecellen wordt steeds belangrijker nu ook cellen van amorf silicium een goed rendement hebben.

De toepassingen van siliciumoxiden zijn zeer divers. Voor de bespreking is dan ook een onderverdeling gewenst.

Zeolieten

De aardolieindustrie was de eerste die siliciumoxiden, vaak gemengd met aluminiumoxiden, als katalysator gebruikte. Vooral in kraakinstallaties bewijzen de zeolieten goede diensten, maar ook voor isomerisatiereacties in reformers worden siliciumkatalysatoren gebruikt. Een afgeleide toepassing is het aanbrengen van metallische katalysatoren op een dragermateriaal van siliciumoxide of siliciumaluminiumoxide.

De zeolieten zijn voor de aardolie-industrie al vanaf 1960 van zeer groot belang voor het kraken van aardolie. Daarbij worden langere koolwaterstofketens gesplitst tot ketenlengten van zes à acht koolstofatomen en gedeeltelijk ook omgezet in aromatische ringverbindingen. Het gevolg is dat een groter deel van de aard-

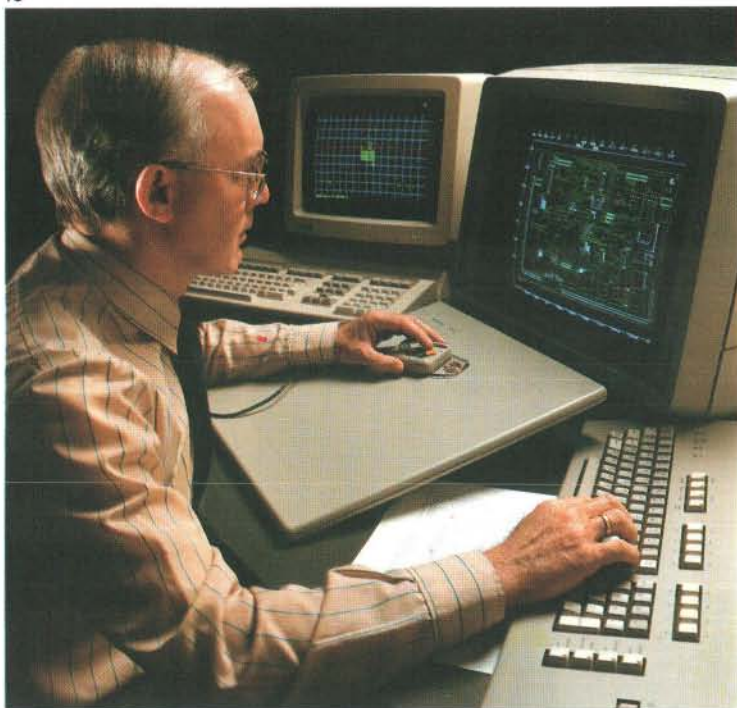
olie kan worden gebruikt voor de productie van benzine. De bekendste katalysatoren op dit gebied zijn zeoliet Y en Clinoptiloliet. Per jaar verbruikt de aardolie-industrie ongeveer 300 000 ton van deze zeolieten. Daarnaast is de laatste jaren het gebruik van de pentasilzeolieten ZSM-5 en ZSM-11 sterk toegenomen. Ze zijn in gebruik bij de omzetting van methanol in voor benzine bruikbare koolwaterstoffen, wat in Nieuwzeeland al op grote schaal gebeurt, en bij de bereiding van ethylbenzeen uit benzeen en etheen. Ook als dragermateriaal voor andere katalysatoren worden ze meer en meer gebruikt, waarbij men de katalysator vaak aan de zeoliet bindt.

Naast het gebruik als katalysator gebruikt men zeolieten ook als droogmiddel, voor het scheiden van gasen en vloeistoffen, en als waterontharder.

Zeolieten zijn een goed droogmiddel als ze een poriegrootte hebben waarin watermoleculen precies passen. Ook bij scheidingsprocessen is de poriegrootte van doorslaggevende betekenis. Zo hebben bijvoorbeeld zuurstof- en stikstofmoleculen een klein verschil in diame-

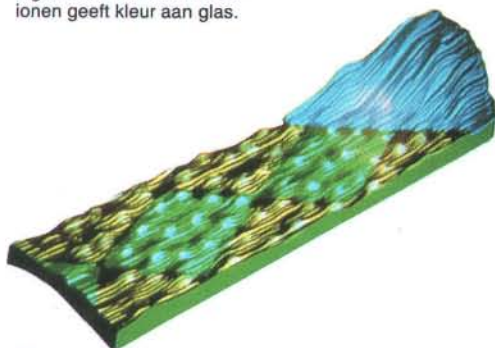
15. Het ontwerpen van chips gebeurt met behulp van geavanceerde rekenprogramma's. De bedoeling is om, ondanks de vele schakelingen die op één chip worden aangebracht, het aantal onderlinge en elkaar kruisende verbindingen zo klein mogelijk te houden.

15



16. De tunnelingmicroscopie maakte het enkele jaren geleden voor het eerst mogelijk het oppervlak van een siliciumkristal te 'zien'. Met kleuren zijn hier de elementaire cellen van siliciumkristallen aangegeven. Twaalf atomen zijn zichtbaar, die echter niet allemaal op dezelfde hoogte liggen.

17. Glas bestaat uit verbindingen van siliciumoxide en natrium- en calciumoxiden. Toevoeging van lage concentraties metaalionen geeft kleur aan glas.



16



17

ter, dat net voldoende groot is om ze op basis daarvan door een zeoliet met juiste poriegrootte te laten scheiden. Zo'n scheiding kan in een met de zeoliet gevulde kolom plaatsvinden. De holten in de zeoliet zijn wel voor O_2 bereikbaar, maar niet voor N_2 . Daardoor is het schijnbare volume van de kolom voor de zuurstofmoleculen veel groter dan voor de stikstofmoleculen. Wordt er lucht door de kolom gevoerd, dan zal de lucht die het eerst de kolom verlaat veel rijker aan stikstof zijn. Er bestaan ook zeolieten die op grond van hun poriegrootte vertakte van onvertakte alkanen kunnen scheiden.

Zeoliet A wordt op grote schaal als ionenwisselaar in wasmiddelen gebruikt met als doel calcium- en magnesiumionen in te vangen waardoor de hardheid van het water daalt. Die functie werd tot voor kort door fosfaten vervuld, maar die mogen steeds minder in wasmiddelen verwerkt worden omdat ze bij lozing op het oppervlaktewater als meststof dienst doen en ongewenste algenbloei veroorzaken. De zeolieten komen uiteindelijk in het rioolslib van de zuiveringsinstallaties terecht.

Glas en cement

Al duizenden jaren past de mens siliciumoxiden toe in glas en aardewerk. Bij verhitting van SiO_2 , waarbij combinatie met tal van andere oxiden mogelijk is, smelt het mengsel en vormt bij langzame afkoeling tot kamertemperatuur een glas. Dat is in feite een vloeistof in vaste toestand; de moleculen zijn min of meer willekeurig georiënteerd, waardoor het licht ook niet, als in kristallen, in bepaalde voorkeursrichtingen wordt verstrooid. Als er geen kleurabsorberende verbindingen in glas aanwezig zijn, laat het glas wit licht ongehinderd door. De meeste glassoorten zijn bereid uit soda ($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$) en kwarts (SiO_2). De wereldproductie wordt geschat op 70 miljoen ton per jaar, waarvan 90% vensterglas is, met de brutoformule $Na_2O \cdot CaO \cdot (SiO_2)_6$. De andere 10% is het zogenaamde bolglas voor flessen, glazen, vazen en kunstvoorwerpen. Door toevoeging van andere oxiden kan men de chemische stabiliteit beïnvloeden. Zo verhoogt boor de chemische inertie en aluminium de thermische stabiliteit. Voor de kleur is de concentratie aan ijzerionen heel kritisch. Aanwezigheid

van 0,1% ijzer is aan de kleur al heel duidelijk te zien. Kwartsglas is erg duur omdat het uit zuiver kwartszand wordt vervaardigd.

Email bestaat voor ongeveer 50% uit siliciumoxide en voor de rest uit andere oxiden en pigmenten die het materiaal zijn kleur geven. Emailleren gebeurt meestal door een ondergrond met zeer fijn glaspoeder te bedekken en dan te verhitten tot het poeder weer tot een glas versmelt.

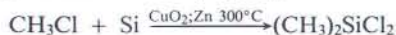
Cement bevat een gering maar wel essentieel bestanddeel siliciumoxide. Portlandcement bestaat bijvoorbeeld uit $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$. Daarnaast is in cement ook vaak Al_2O_3 aanwezig. Het hard worden van cement gebeurt door de vorming van zeer harde hydraten van de gemengde metaaloxiden. Er ontstaan dan vaak zeer ingewikkelde verbindingen zoals ettringiet: $(\text{CaO})_3(\text{Al}_2\text{O}_3)(\text{CaSO}_4)_3(\text{H}_2\text{O})_{32}$.

Polymeren

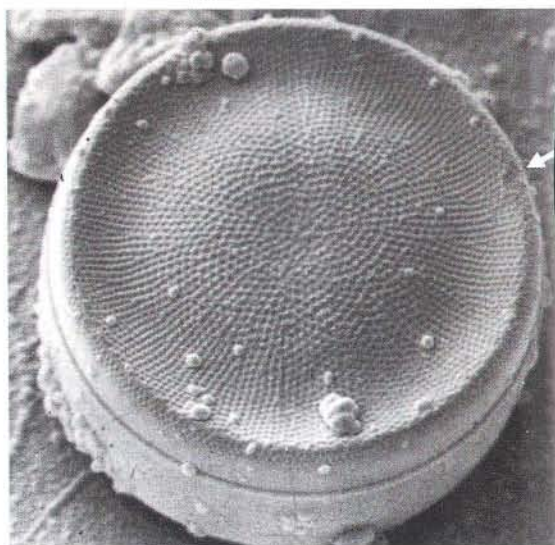
Anorganische vezels bestaan meestal uit netwerken van SiO_2 gemengd met metaaloxiden. *Asbest* is een voorbeeld van een hele klasse van anorganische polymeren. De stof is zeer stabiel en werd veel gebruikt als elektrische isolatie. Veel soorten asbeststof zijn echter zeer kankerverwekkend en daarom wordt het bijna niet meer gebruikt. Ongeveer 95% van alle asbest heeft als brutoformule $\text{Mg}_3(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$.

Heel andere eigenschappen hebben de *siliconen* die zijn opgebouwd uit een O-Si-O-Si-O-Si ruggesgraat. Afhankelijk van de substituenten aan Si, hun molecuulgewicht en de mate van verknoping van de ketens kunnen siliconen zeer veel verschillende eigenschappen hebben.

De polymeren zijn zowel chemisch als fysiologisch zeer inert. De synthese kost veel energie en verloopt in twee stappen. In de eerste stap worden chloorsilanen gemaakt met de formule SiCl_2R_2 , waarin R veelal CH_3 of C_6H_5 is. De reactievergelijking is:



Het koperoxide is katalysator en moet in een verhouding 3:100 ten opzichte van Si aanwezig zijn. Zink wordt de promotor genoemd en daarvan is 0,1% van de hoeveelheid silicium genoeg. In de tweede stap polymeriseert dimethyldichloorsilaan in waterig milieu, waarbij ringen en ketenvormige polymeren ontstaan (afb. 19).



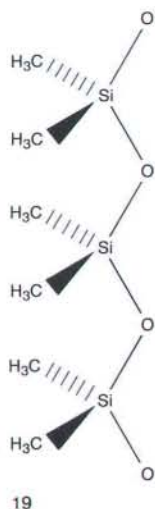
18

Afhankelijk van het molecuulgewicht en de verknopingsgraad spreekt men van *siliconenolie*, met ketens van 10 tot 100 eenheden (n) lengte, van *siliconenrubber* (n = 100 tot 1000) en van *siliconenharsen* (n > 1000). Siliconenolie is in gebruik als hoogwaardig smeermiddel. De rubbers en harsen vinden, hoewel ze erg duur zijn, veel toepassing vanwege hun bestendigheid tegen hoge temperaturen. Speciale eigenschappen kan men introduceren door aan de polymeerketens chemische groepen als lange alkylstaarten en polaire groepen te koppelen. De polymeren met hoog molecuulgewicht bereidt men veelal via een zogenaamde ring-openende polymerisatie. Hierbij worden van kortere ringvormige polymeren de ringen geopend en de resten aan elkaar gekoppeld. De overblijvende kortere stukken verwijdert men daarna door destillatie.

In de siliconenharsen komen veel verknoopte ketens voor. Bij de polymerisatie gaat men dan van silanen uit waaraan extra CH_3SiCl_3 is toegevoegd dat als knooppunt voor drie ketens gaat functioneren. De resulterende harsen worden als lakgrondstoffen en bindmiddelen gebruikt, vanwege de hittebestendigheid, de waterafstootbaarheid en de slijtvastheid. Verder gebruikt men lagen siliconenharsen op bakplaten, als wateriserende laag en als kabelisolatie. Bij brand ontstaan slechts isolerende SiO_2 -verbindingen, geen giftige gassen.

18. Kiezelwieren hebben een uitwendig geraamte van siliciumdioxide, waarvan de structuur op deze rasterlektronenmicroscopische opname zichtbaar is gemaakt.

19. Siliconen zijn polymeren met bijvoorbeeld eenheden $\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{O}$.



Keramik

Het gebruik van siliciumhoudende kleien voor het bakken van aardewerk is ongeveer de oudste toepassing van siliciumverbindingen. Het bakken is een proces dat men *sinteren* noemt: min of meer fijnverdeelde en samengeperste korrels worden bij hoge temperatuur aan elkaar gesmolten. Daarbij ontstaat een vaak nog poreus maar zeer hard baksel. Aardewerk moet geglaazuurd worden om waterdicht te kunnen zijn.

Verschillende soorten aardewerk ontstaan door het gebruik van verschillende kleien, terwijl ook variatie in het bakproces invloed heeft op de kwaliteit. De oude keramiektechnologie is de afgelopen twintig jaar weer in het centrum van de belangstelling gekomen doordat er nieuwe keramische materialen als SiC en Si_3N_4 zijn ontwikkeld. Ook dit zijn poeders die in samengeperste toestand worden gesinterd, maar ze vinden geen toepassing als sanitairporselein of serviesgoed. De nieuwe keramieken zijn meestal erg hard en goed tegen extreme temperaturen bestand. Een mengsel van Si_3N_4 en Al_2O_3 , met als naam SIALON, wordt bijvoorbeeld als oppervlaktebekleding van rotorbladen in gasturbines gebruikt. Ook zuigers van automotoren coat men wel met het nieuwe keramiek, dat echter als nadeel heeft dat het slecht te bewerken is en nogal snel scheurt.

Silicium in de biosfeer

Sommige organismen gebruiken silicium om zichzelf stevigheid te verschaffen. De diatomeeën of kiezelwieren hebben een celwand die met $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ is verstevigd. De as van sommige planten, bijvoorbeeld de leden van de paardestaartfamilie, maar ook enkele grassen, bevat wel 50 tot 90% SiO_2 . De mens en andere zoogdieren krijgen met het voedsel veel silicium binnen, de mens ongeveer 20 tot 30 milligram per dag als hij tenminste zijn groente goed wast en niet op het strand luncht. Er wordt echter niet veel van in de bloedbaan opgenomen.

Mensenbloed en -urine bevatten ongeveer 10 ppm silicium. De biologische functie is grotendeels onbekend. Er is wel aangetoond dat het element onontbeerlijk is voor een goede groei. Met name voor de huid-, nagel- en haargroei is het direct vereist. Wie regelmatige peulvruchten, vliesrijst en rauwkost eet, hoeft niet bevreesd te zijn voor een tekort aan silicium in het dieet. Het op de markt brengen van een paardestaartextract (Silica) om siliciumtekorten tegen te gaan is dan ook wat overdreven. Het inademen van silicium- en siliciumdioxide-stof is daarentegen gevaarlijk, de longziekte silicose, vanouds bekend bij mijnwerkers, ontstaat bijvoorbeeld ook gemakkelijk bij mensen die gebouwen zandstralen.

De auteur dankt prof dr ir H. van Bekkum, prof dr J. Schoonman, prof dr J.C. van Hooft en J.C. Jansen voor het verstrekken van informatie.

Literatuur

- Büchner W. Industrielle Anorganische Chemie. Weinheim: VCH; 1986.
 Fuhs W. Amorf silicium - Stroom uit een dun laagje. Natuur en Techniek 1985; 53 no.7; pag. 506-517
 Masschelein JCJ. Vaste stof in de natuurkunde. Natuur en Techniek 1985; 53 no. 9; pag. 656-671
 Rochow EG. Silicon and Silicones. Berlijn: Springer Verlag; 1987. ISBN 3-540-17565-2

Bronvermelding illustraties

- Paul Paris Airprint, Amstelveen: pag. 398-399, 3
 Aluminium Delfzijl BV, Delfzijl: 6, 7
 Wim Köhler, Cadier en Keer: 9, 10, 11
 Philips, Eindhoven: 12, 13, 15
 IBM, Amsterdam: 16
 NV Verenigde Glasfabrieken, Leerdam: 17
 R. Peelen, Kloetinge, mmv FDO, Amsterdam: 18

SIMON ROZENDAAL

DE RAMP DIE GEEN RAMP WAS

George Tokuhata, de leider van het onderzoek naar de medische gevolgen van 'Harrisburg', concludeert dat die gevolgen vrijwel nihil zijn.

"Het is allemaal perceptie, het zit allemaal hier." Prof dr George Tokuhata wijst op zijn hoofd. De kleine Japanse Amerikaan leidt al tien jaar diverse onderzoeken naar de gezondheidsgevolgen van het ongeluk met de Three Mile Island kerncentrale. Keer op keer komt daar uit dat er nauwelijks tot geen medische gevolgen zijn – doodeenvoudig omdat er heel weinig radioactiviteit is vrijgekomen bij dat ongeluk, maart 1979.

Mijn vraag aan Tokuhata was hoe het dan toch mogelijk is dat in de buurt van de kerncentrale steeds maar weer geruchten opduiken – die soms hun beslag in rapporten krijgen – dat er wel degelijk meer gevallen van kanker, miskramen en geboorten van mongooltjes plaats hebben. De anders toch heel genuanceerd pratende Tokuhata is hier evenwel heel stellig over. Er is sprake van een inbeelding op redelijk grote schaal. Tokuhata: "Dat is overigens niet uniek voor kerncentrales hoor. Ook bij verontreinigende fabrieken in andere staten van de VS kom je dit tegen. Mensen die daarbij in de buurt wonen schrijven alles wat er met hun gezondheid gebeurt aan zo'n fabriek toe

en soms krijgt men regelrecht ingebeelde ziektes."

George K. Tokuhata is directeur van de afdeling epidemiologische research van het gezondheidsministerie van de staat Pennsylvania en hoogleeraar in de epidemiologie en biostatistiek aan de universiteit van Pittsburgh. Hij werkt in Harrisburg, de hoofdstad van Pennsylvania, dat op een kilometer of twintig van het kleine eilandje met de twee kerncentrales in de Susquehanna-rivier ligt. Al enkele maanden nadat er bij kerncentrale nummer twee op 28 maart 1979 een ernstig ongeluk (in vaktermen: een *loss-of-coolant-accident*) plaats had, waarbij zo'n tien miljoen curie aan radioactiviteit in de buitenlucht terecht kwam, werd Tokuhata door de gouverneur van Pennsylvania benoemd tot leider van het team dat de medische gevolgen moest onderzoeken.

Nog steeds houdt Tokuhata zich bijna full-time met dit onderzoek bezig. De eerste paar jaar werkten er dertien mensen van zijn afdeling aan het onderzoek, tegenwoordig zijn het er zeven, plus onderzoekers van de universiteit van Pittsburgh, voor een groot deel van het veldwerk.

Volkstelling

Eén van de eerste dingen waar men mee moest beginnen was een volkstelling. Honderdvijftig mensen gingen van huis tot huis bij de 37000 mensen die binnen een straal van acht kilometer van de kerncentrale woonden, en vroeger naar de medische historie, of mensen rookten, waar ze werkten en waar ze in de tien dagen na het ongeluk waren geweest – een onderzoek dat 300 000 dollar kostte. Tokuhata: "De gegevens van al die mensen staan nu op computertape. Waar ze wonen en, zo ze niet meer leven, of we dan hun overlijdenscertificaat hebben, waarop de doodsoorzaak staat vermeld."

Al voor het ongeluk stonden er rondom de kerncentrale stralingsmeters, direct eraan zijn er meters bij geplaatst en hebben tal van organisaties vanuit helikopters en rijdende laboratoria de straling gemeten. Men kent ook vrij precies de toen heersende windrichtingen en -snelheden. Omdat aan iedereen binnen de straal van acht kilometer is gevraagd waar men was ten tijde van het ongeluk, plus de eerste tijd daarna, heeft To-



Prof. G. Tokuhata: "Ik kan op geen enkel congres meer verschijnen als ik in opdracht van de Amerikaanse overheid zou liegen."

kuhata een redelijk goede schatting van de stralingsbelasting die iedereen heeft opgelopen. Daardoor is zijn onderzoeksgroep in staat om relaties te leggen tussen medische verschijnselen en de berekende stralingsbelasting. In de eerste plaats bleek de stralingsbelasting betrekkelijk gering. De hoogste cumulatieve dosis die door één van de stralingsmeters (het oost-noordoost station, op een halve mijl van de centrale) is gemeten, was 83 millirem. To-

kuhata berekende de stralingsdosis die het hele lichaam had ontvangen aan gamma- en bètastraling, en de dosis die de schildklier gekregen had. Dat laatste vanwege de bij een dergelijk ongeluk aanwezige angst voor radioactief jodium dat zich in de schildklier ophoopt. Ook zijn er twee series berekeningen gemaakt. Eén maximale schatting, gebaseerd op de aanname dat iedereen na het ongeluk op de plek is gebleven waar men was (64%

van de bevolking binnen een straal van acht kilometer is voor één à anderhalve week weggevlucht) en dat er geen afscherming door huizen en kleding was. Daarnaast maakten de onderzoekers een meer realistische schatting, waarbij wel rekening is gehouden met het feit dat veel mensen kleren aan hadden en in huizen zaten – althans een groot deel van de tijd. Met wegvluichten of evacuatie is ook in deze schatting geen rekening gehouden, dus in feite is voor de bevolking in zijn algemeenschap ook deze schatting nog aan de hoge kant. De conclusie was dat de maximale dosis die iemand opgelopen kan hebben als gevolg van het ongeluk – in het geval hij of zij zo dicht mogelijk bij de kerncentrale stond, benedenwinds en naakt – 165 millirem was. Tokuhata's eindconclusie is dat voor de 36000 mensen die in een gebied van zestien kilometer rond TMI-2 wonen de maximale dosis tien millirem is geweest en het gemiddelde vier millirem.

Dat valt allemaal erg mee. De natuurlijke achtergrond dosis is in het gebied rond Harrisburg zo'n 100 millirem per jaar en een medische doorlichting levert ook al gauw tussen de twintig en vijftig millirem op. Gemiddeld komen al die doorlichtingen per jaar neer op nog eens zo'n 90 millirem stralingsbelasting. Met andere woorden, de omwonenden hebben twee weken extra achtergrondstraling opgelopen, die minder is dan wanneer de tandarts een foto van hun gebit maakt. Zelfs in het allerernstigste geval (als er iemand zo dicht mogelijk benedenwinds is geweest, die zal er niet bloot hebben gestaan) levert de straling niet veel meer dan één jaar extra achtergrondstraling op.

Zwangere vrouwen

Daarnaast heeft Tokuhata allerlei gerichte medische onderzoeken gedaan. Zo zijn er in het gebied van zestien kilometer rond de kerncentrale vierduizend zwangere vrouwen onderzocht – vrouwen die zwanger waren ten tijde van het ongeluk en vrouwen die het kort daarna zijn geworden. Een jaar later is er een controlegroep van zwangere vrouwen uit het gebied onderzocht, om te kijken wat de straling van 1979 voor verschil maakte. Na vijf jaar is ook onderzocht hoe de gezondheid van de geboren kinderen was.

De conclusie van dit alles, aldus Tokuhata, is dat er niets bijzonders met die vrouwen en hun kinderen aan de hand was. "Het aantal dagen dat de kinderen niet op school

zijn en het aantal dagen dat hun moeders in ziekenhuizen hebben doorgebracht, zijn belangrijke indicaties voor ziekte en die wijken niet af van het gemiddelde."

Het enige meetbare fysiologische effect was dat nogal wat zwangere vrouwen extra medicatie hadden genomen. Daardoor zijn er meer kleine kinderen – lichter dan 2500 gram – geboren dan men statistisch kon verwachten. Tokuhata heeft zorgvuldig 36 correlaties geprobeerd om de lage geboortegewichten te verklaren, maar er was alleen een relatie te ontdekken tussen laag geboortegewicht en het slikken van extra medicamenten zoals slaappillen, tranquillizers zoals valium, en pillen tegen angst. Overigens moet ook dit niet overdreven worden. Slechts vier procent van de vierduizend zwangere

vrouwen nam extra medicamenten en van hen was de kans op een lichte baby 12% – tegenover 6 à 7% in het algemeen.

Ook was er een verschil tussen de werkelijke gezondheid van de kinderen en de perceptie van de moeders. Gemeten naar het aantal bezoeken aan de huisarts, het verzuim van school en het aantal dagen in het ziekenhuis, waren de kinderen die vlak na het ongeluk zijn geboren niet zeker dan andere kinderen. Het oordeel van hun moeders over hun gezondheid is echter slechter dan dat van de moeders, die een jaar later kinderen kregen.

De mogelijke verklaring hiervoor, aldus Tokuhata, is dat de vrouwen die tijdens het ongeval zwanger waren, door alle publiciteit ernstig bezorgd waren over de gezondheid van



hun kind en vervolgens na de geboorte angstig elke temperatuurverhoging en elk teken van zwakte en ziekte registreerden. "Een vergelijkbaar effect, *selectieve herinnering*, is ook in de omgeving van een opslagplaats voor chemisch afval in Louisiana aangetoond", zegt Tokuhata.

De groep van Tokuhata heeft meer van dit soort studies gedaan die in de reguliere wetenschappelijke tijdschriften zijn verschenen of op wetenschappelijke congressen zijn voorgedragen. Over sterfte van kinderen en foetussen in het Three Mile Island gebied, over zwangere vrouwen, drie verschillende stress-studies en een algehele mortaliteitsstudie. Uit al die studies blijkt dat er verwaarloosbare gezondheidseffecten zijn. Alleen ten gevolge van stress zijn er enkele meetbare effec-

ten geweest, zoals hoofdpijn, duizeligheid, eetlust- en slaapproblemen en menstruatiestoornissen.

Tokuhata is met die afwezigheid van effecten toch heel blij. "Dit onderzoek is wetenschappelijk van zeer grote waarde. Eigenlijk is er helemaal niet zo veel experimentele kennis over de effecten van radioactiviteit op mensen. Je hebt Hiroshima, Nagasaki en de Marshall-eilanden maar dat gaat om hogere doses. Veel literatuur over de effecten van lage stralingsdoses is er niet. Three Mile Island is daarom uniek."

Controverse

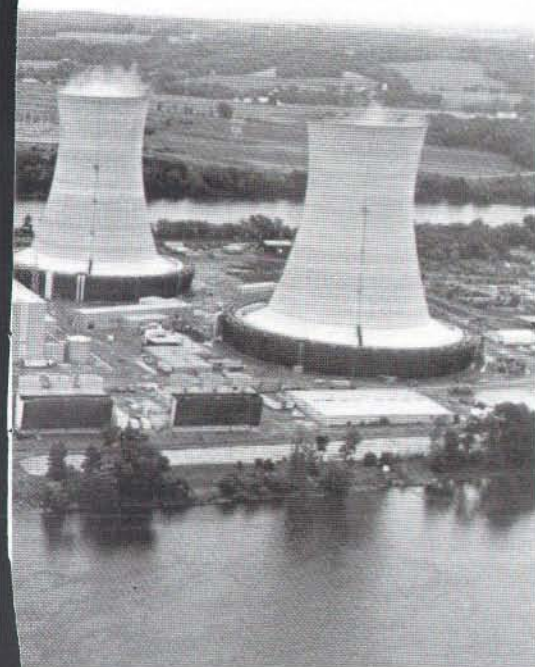
De studies van Tokuhata en de zijnen staan in schril contrast met enkele wetenschappelijke studies die door actiegroepen in de buurt van de

kerncentrale zijn verricht. Nogal wat verontruste bewoners zijn na afloop van het ongeval alle gevallen van medische afwijkingen gaan boekstaven en hebben die gevallen — soms met steun van kritische wetenschappers als Ernest Sternglass — in rapporten verzameld.

Veel indruk in de omgeving heeft bijvoorbeeld het *Aamodts-rapport* gemaakt. Het echtpaar Aamodts, Norman en Marjorie, dat overigens inmiddels is verhuisd naar een andere staat, heeft in 1984 in vier dorpen, benedenwinds van de centrale, naar het zegt een zeven- tot achttienmaal hogere kankersterfte aangetroffen dan men statistisch had kunnen verwachten. Conclusie: TMI-2.

Tokuhata: "De Aamodts-studie trok als een storm door de media. Daardoor werden wij gedwongen om ook een studie naar kanker te doen. Eerlijk gezegd waren we dat nog lang niet van plan. Op zijn vroegst kan men tien à vijftien jaar na het ongeval met de kerncentrale eventuele effecten op het optreden van kanker constateren. Bovendien krijgt zo'n dertig procent van de Amerikanen die nu leven toch kanker ten gevolge van tal van andere oorzaken zoals roken, alcohol en dergelijke. Van de ruim twee miljoen mensen die in een straal van vijftig mijl rond de centrale wonen, zouden er dus toch al meer dan een half miljoen kanker krijgen. Ten gevolge van het ongeval komt er nu ongeveer één geval van kanker bij."

Van de Aamodts-studie bleef bij nader inzien weinig over. Zo had het verontruste echtpaar in één van de vier gemeenten die het lijdend voorwerp van de studie waren, slechts vier van de veertien straten meegenomen in de studie. Alleen in die vier stra-



Three Mile Island met zijn twee kerncentrales, links de ongelukscentrale (Foto: Metropolitan Edison).

ten woonden mensen met kanker, niet in de andere straten. Ook zaten er mensen bij bij wie de diagnose kanker al vóór het ongeluk was gesteld, zware rokers met longkanker, mensen die pas na het ongeluk in het gebied waren komen wonen, en er was iemand die aan iets anders was overleden verwisseld met een familielid dat al voor het ongeluk aan kanker was overleden. Hetzelfde bleek ten aanzien van de verontrusting die er was in het de provincie Lancaster waar zeven gevallen van *hypothyroïdie* waren geconstateerd. Dat is een ernstige afwijking waarbij pasgeborenen geen of een uiterst gebrekkig functionerende schildklier hebben en waardoor ernstige mentale stoornissen zoals achterlijkheid optreden. Ook deze afwijking komt spontaan af en toe

voor, maar wel is het uiterst toevallig en opmerkelijk als zeven van die gevallen zich in een klein gebied voordoen. Tokuhata: "Van die zeven bleven er niet veel over. Eén geval bleek zich vlak voor het ongeluk te hebben voorgedaan. Eén werd drie maanden na het ongeluk geboren en had tevens allerlei problemen met het centraal zenuwstelsel. Omdat het centraal zenuwstelsel al aan het begin van de zwangerschap wordt gevormd is het dus heel waarschijnlijk dat het schildklierprobleem al ruim voor het ongeluk op 28 maart ontstond. Bij een ander kind was er sprake van een Amish-familie, een streng religieus genootschap waar veel inteelt plaats heeft en waar om die reden toch al veel zwakzinnigheid voorkomt. In twee andere gevallen was de schildklier om geheel andere

redenen in het lichaam verdwaald en kon daarom geen radioactief jodium opnemen. Met andere woorden, er was geen sprake van een onverklaarbare ophoping in Lancaster. Het had trouwens ook moeilijk gekund want deze provincie ligt zo'n 30 mijl (bijna 50 kilometer) bovenwinds van de kerncentrale verwijderd."

Paniek voorkomen?

Vlak voor ik Tokuhata ontmoette sprak ik met de burgemeester van het dorpje Middletown, nabij de kerncentrale. Die vertelde mij de woorden van Tokuhata met één of meer korrels zout te nemen. De bewuste burgemeester: "Wat denkt u dat de Amerikaanse overheid zou zeggen als er wel sprake was van veel medische problemen in deze omgeving? Let wel, ik zeg niet dat het zo is, ik denk het soms wel maar ik heb er geen aanwijzing voor. Zou het echter wel zo zijn, dan kan de Amerikaanse overheid niet toestaan dat er paniek optreedt en zorgt er dus voor dat mensen als Tokuhata vertellen dat er niets aan de hand is." Als ik dit tegen Tokuhata zeg oogt hij gekwetst. "Wat bedoelt u daarmee? Ik voel mijzelf helemaal niet deel uitmaken van de overheid. Informeer u maar, ik en mijn mensen maken deel uit van de internationale gemeenschap van wetenschapsmensen die de gezondheidseffecten van straling bestuderen. Al tweemaal ben ik bijvoorbeeld op uitnodiging en kosten van de Japanse overheid op een wetenschappelijk congres in Tokyo geweest. Ik kan op geen enkel congres meer verschijnen als ik daar in opdracht van de Amerikaanse overheid zou liegen."

Op een kaart worden de berekende stralingsintensiteiten ingetekend
(Foto: Metropolitan Edison).



PAUL WOUTERS

EEN FYSICUS MET EEN DILEMMA

Willem de Ruiter,
criticus van de technologisch-wetenschappelijke cultuur

“Ze waren onpartijdig, hoog in de wolken als goedertieren goden. We wachtten hun zegeningen af en geurden ermee — zoals ik met mijn goedkope verrekijker en mijn sjeke camera — alsof we ze zelf geschapen hadden.”

Zo spreekt Salim, Afrikaan van Indiase afkomst en de hoofdpersoon in V.S. Naipauls *‘In de bocht van de rivier’* over de geleerden en uitvinders. Nu leeft Salim in een dorp in Afrika, maar deze verafgoding beperkt zich niet tot dat continent. Juist in de Westeuropese cultuur nemen onderzoekers een bevoorrechte positie in.

Op het eerste gezicht is dat volkomen terecht. Hebben wetenschap en technologie niet gezorgd voor een grensverlegging zonder weerga? Zijn zij niet verantwoordelijk voor nieuwe geneesmiddelen, goedkope energie-opwekking en zoiets wonderbaarlijks als de compact disc? Voor velen is de moderne wetenschap daarom magie die werkt. En wetenschappers laten zich het aureool van de geslaagde tovenaarsleerling graag welgevallen. Ze voelen zich dan de discipelen van Prometheus. Zoals hij de oppergod Zeus te slim af was door het vuur van de hemel te stelen, zo zijn zij de natuur te slim af. Beide brachten de mensheid daarvoor welvaart en beschaving.

De doos van Pandora

Dat is ook de mening van de natuurkundige Klinkhamer. Deze bezoekt zijn collega en leermeester Donkersloot op diens ziekbed. Donkersloot blijkt zich echter ontwikkeld te hebben tot een enorme zwartkijker. De wetenschap kan bijna geen goed meer doen. Voor hem is Prometheus het symbool geworden van de vindingrijkheid die ons te gronde richt. Op de diefstal van Prometheus volgde niet

Donkersloot:

“De mensheid gaat ten onder aan de overspannen geestkracht van de wetenschap

voor niets, als straf van Zeus, de doos van Pandora, die de mens ziekte en lijden bezorgde.

De twee geleerde debatteren met elkaar tot Donkersloot, inmiddels gereduceerd tot een schotel hersenen, in leven gehouden door ingenieuze apparatuur, de conclusie trekt. De mensheid zal ten onder gaan aan “de overspannen geestkracht van de wetenschap, die haar eens bevrijdde van de duistere machten van de natuur.”

U mag toch nog even ademen: Donkersloot en Klinkhamer zijn geen geleerden van vlees en bloed, maar schepingen van de fysicus Willem de Ruiter. De dialogen tussen de optimist en de pessimist zijn neergelegd in zijn boekje *‘De vooruitgang of het noodlot van Faust. Drie dialogen over de kwaliteit van het bestaan.’*

Willem de Ruiter (40 jaar) is een opvallend criticus van de cultuur van wetenschap en technologie in Nederland. Hij studeerde in Delft natuurkunde en wetenschapsfilosofie. Van 1980 tot begin dit jaar gaf hij les aan de Technische Universiteit Eindhoven over de relatie tussen wetenschap en maatschappij. Hij was daar verbonden aan de afdeling Studium Generale. Sinds januari dit jaar is de natuurkundige benoemd aan de Rijksuniversiteit Utrecht als medewerker bij de vakgroep Natuurwetenschappen en Samenleving. Hij is bovendien ruim zeven jaar redacteur van het blad Wetenschap en Samenleving, het maandblad van de Vereniging van Wetenschappelijk Werkers. Op dit moment is De Ruiter bezig met de voorbereiding van een promotie-onderzoek naar de ontwikkeling van de laser. Hij wil de gevolgen van natuurkundige ontdekkingen in kaart brengen. “De komst

van de lasermaatschappij is daar een voorbeeld van," aldus De Ruiter.

Zijn 'Faust' is niet onopgemerkt gebleven. De voorzitter van de Raad van Advies voor het Wetenschapsbeleid, prof dr H.G. Van Bueren, werd na lezing zo woedend dat hij een reeds toegezegde deelname aan een discussie over het geschrift abrupt afzegde. De natuurkundige en schrijver dr Cees Andriessie ging wel in op een soortgelijke uitnodiging, maar noteerde (in *'Een boudoir op Terschelling'*): "Ik heb bezwaar tegen die noodlottige boodschap, tegen de gemeenplaatsen waarin ze wordt verkondigd en, vooral, tegen de stijl — je reinste gietijzer."

De temperamentvolle ontvangst van zijn boodschap brengt De Ruiter niet in onzekerheid: "Ik heb dus in de roos geschoten." Hij wijt deze felheid aan het technologie-optimisme van de meeste natuurwetenschappers. Voor hen betekent technologie vooruitgang. Positieve reacties heeft hij vooral gehad uit de literaire, religieuze en sociaal-wetenschappelijke kringen. "Die vinden de kritische instelling heel plezierig." Maar door natuurwetenschappers wordt het boek "direct in de hoek gesmeten." Volgens De Ruiter geldt dat in het bijzonder voor de ouderen. Bij de nieuwe generatie fysici bespeurt hij een andere houding: "Die is er van overtuigd dat technologie een januskop heeft, dat vindt ze vanzelfsprekend."

Generatieconflict

De houding van De Ruiter is in de roerige jaren zestig bepaald door de opkomende radicale kritiek op de wetenschap. Voor hem is de beduchtheid voor de schaduw-

zijde van wetenschap en technologie typerend. De Ruiter stelt de crisis van de technologische cultuur centraal. We hebben zijns inziens te maken met economische crises die sinds de industriële revolutie periodiek terugkeren, met een veiligheids crisis sinds de komst van de kernwapens, met een milieucrisis en, tenslotte, met een normen- en waarden crisis.

In al deze crises speelt de technologie een centrale rol. De technologische vernieuwing van de produktie veroorzaakt een lange golfbeweging in de economie die de grootste verstoringen teweeg brengt. De atoomsplijting heeft kernwapens mogelijk gemaakt. Door de techniek zijn de vervuiling en de ontwrichting van het milieu tot ongekennde hoogten gestegen. Tenslotte heeft de succesvolle opkomst van de exacte wetenschap volgens De Ruiter het leegstromen van de kerken veroorzaakt, evenals de verzwakking van de traditionele normen.

De Ruiter verwacht geen oplossingen van de wetenschap. De overheersende rol van de technologie is voor hem eerder een zwakke plek: "Steeds kom je dat geloof in de techniek weer tegen, het is sterk in onze cultuur verankerd." Eén van de duidelijkste voorbeelden vindt hij het SDI-ruimteschild, gestimuleerd door de voormalige Amerikaanse president Ronald Reagan: een technologische oplossing voor een politiek probleem. De aanpak van het milieuprobleem sterkt hem in zijn opvatting. "Men zoekt het opnieuw in de technologie, milieutechnologie dit keer, in plaats van de patronen van produktie en consumptie te veranderen."

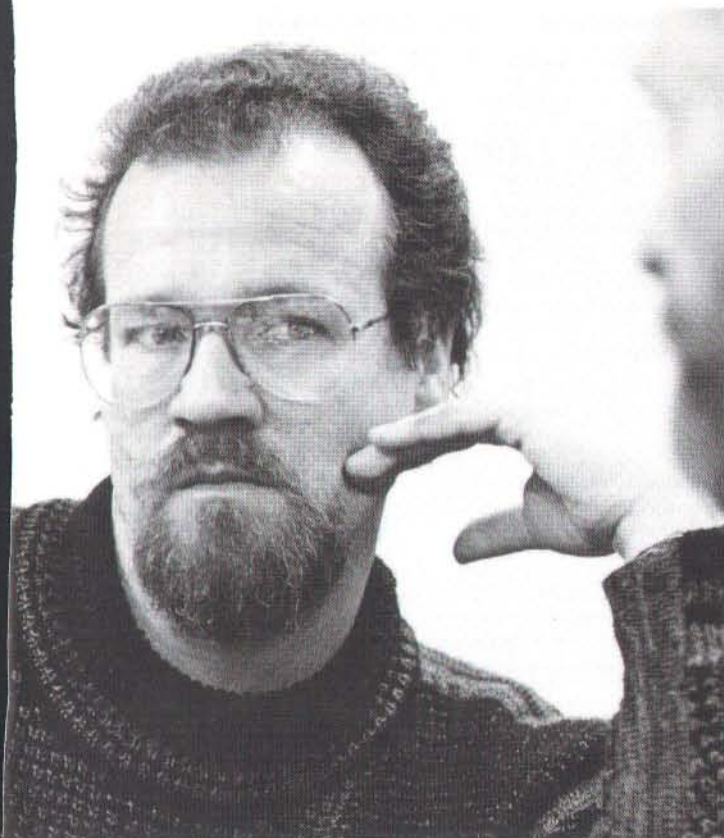
Het grote prestige van de wetenschap komt duidelijk tot

Willem de Ruiter:
ge fascineerd en
sceptisch (Foto:
R. Willems).



uitdrukking in de plaats die de deskundigen tegenwoordig innemen. Zij worden geacht er alles van te weten, een min of meer objectief oordeel te kunnen vellen en zijn zelfs tot het NOS-journaal doorgedrongen. Maar hoe zit het met meningsverschillen tussen die deskundigen?

Voor Willem de Ruiter waren de bijeenkomsten van de Brede Maatschappelijke Discussie over Kernenergie nogal onthullend. Niet alleen bleken de deskundigen het totaal niet eens te zijn, ze gedroegen zich in het geheel niet op de manier die hij van wetenschappers verwachtte. Van een rustige en redelijke uiteenzetting van de wederzijdse argumenten was geen sprake, laat



staan dat de experts het op basis daarvan eens werden. De strijd leek eerder op een straatgevecht waarbij de opponenten geen middel ongebruikt lieten. Zo ongeveer zo als politici tegen elkaar te keer kunnen gaan in een stevige polemiek. "Ze beschuldigden elkaar van intellectuele oneerlijkheid, het verdraaien van de feiten, onwetenschappelijkheid, verkeerde extrapolaties enzovoorts."

In een kort geleden gepubliceerd essay (*Achtergronden van controversen tussen deskundigen*) probeert De Ruiter die ervaringen te verwerken. Hij onderscheidt drie soorten discussies: de wetenschappelijke, de juridische en de politieke. De wetenschap-

pelijke is het meest rationeel: na verloop van tijd worden men het gewoon eens. Het juridische model is gebaseerd op de weegschaal: de diverse argumenten worden tegen elkaar afgewogen door een min of meer onafhankelijke figuur. Het politieke debat tenslotte kenmerkt zich door het principe 'alles mag' en wordt door de natuurkundige gezien als het minst rationeel. Hij probeert vervolgens na te gaan hoe het komt dat het juridische model in de wetenschap niet werkt. Dat zou toch ideaal zijn voor debatten over gecompliceerde toepassingen van de wetenschap. Dan kunnen ingewikkelde belangen tegenstellingen tegen elkaar worden afgewogen. De

Ruiters conclusie is dat 'hindernissen' tussen de experts dit onmogelijk maken. Deze worden veroorzaakt door filosofische, sociale en politieke verschillen. Zo hebben ingenieurs die bij een kerncentrale werken, in het algemeen een andere opvatting over de wenselijkheid van kernenergie dan die ene natuurkundige van de stichting Natuur en Milieu. "Dit stemt pessimistisch," aldus De Ruiter, die de conclusie trekt dat de objectieve en onafhankelijke deskundige een fictie is.

Hiermee neemt De Ruiter een middenpositie in. Hij gaat nog steeds uit van de mogelijkheid van een 'ideaal' rationeel debat tussen wetenschappers en ziet het feit dat dat niet lukt als een storing. De Franse socioloog Bruno Latour gaat veel verder. Volgens hem kan zo'n objectieve discussie tussen wetenschappers helemaal niet bestaan, ook niet als het gaat om fundamentele vragen in de wetenschap. Voor hem is het bedrijven van wetenschap een bewijswedloop die het meest lijkt op de wapenwedloop. Helemaal aan de andere kant staan mensen als Andriess, die juist zeer hoge verwachtingen hebben van de discussie tussen wetenschappers en vinden dat dat forum veel te weinig invloed heeft. Andriess spreekt dan ook van 'het versmadede forum.'

Militair onderzoek

Eén van de opvallende eigenschappen van het moderne wetenschapsbedrijf is zijn militaire karakter. Defensie is in vele landen de voornaamste opdrachtgever van wetenschappers. Enorme aantallen onderzoekers werken dagelijks aan nieuwe wapens. De moderne technologie speelt een hoofdrol in de wapenwed-

loop. In de Verenigde Staten bepaalt defensie ongeveer zeventig procent van de publieke bestedingen aan onderzoek en ontwikkeling.

Bruno Latour vindt dat logisch. De aard van wetenschappelijk werk en die van het leger passen volgens hem prima bij elkaar. Zowel voor de wapenwedloop als voor de bewijzenwedloop is winnen het voornaamste probleem. "Tegenwoordig kan geen enkel leger winnen zonder wetenschappers en slechts weinig wetenschappers of technici kunnen hun meningsverschillen winnen zonder leger," aldus de socioloog. Dat zoveel creativiteit ten dienste staat van de militaire sector, ziet

"De objectieve en onafhankelijke deskundige is een fictie."

De Ruiter daarentegen als aanwijzing dat de wetenschappelijke nieuwsgierigheid helemaal niet zo vrij is als de meeste wetenschappers denken. "De technologische ontwikkeling richt zich blijkbaar naar de bestaande machtsverhoudingen." De militairen hebben in ieder geval een goed ontwikkelde neus voor nieuwe ontwikkelingen.

Eerherstel van de politiek

Volgens De Ruiter functioneert de politiek niet in het sturen van de snelle technologische ontwikkelingen. Dit vindt hij een buitengewoon groot probleem. De politieke discussies lopen achter de feiten aan. De technologie maakt wel een autonome indruk maar dat is gezichtsbedrog. Sinds 1980 staat 'de innovatie' centraal, zonder dat

de vraag gesteld wordt wat 'maatschappelijke vooruitgang' in feite inhoudt.

Waar moet het heen met de mensen en de samenleving? "Politici zijn eigenlijk veel te pragmatisch geworden, ze nemen in allerlei kwesties veel minder principiële standpunten in, ze denken onvoldoende na," is de ervaring van Willem de Ruiter. Zo worden in het ruimtevaartbeleid belangrijke keuzen gemaakt voor het ontwikkelen van bemande ruimtestations en een reis naar Mars. "Maar wat blijkt? De politici hebben er gewoon niet over nagedacht!" Op deze manier wordt volgens De Ruiter een koers gezet waarin prestigieuze projecten een hoofdrol spelen, zonder een behoorlijke afweging. De Ruiter: "Ik heb de indruk dat de politici zich in hoge mate laten leiden door allerlei experts zonder dat de eigenlijke politieke vraag, waar willen we heen, gesteld wordt."

Technologische cultuur

Willem de Ruiter geeft dan wel college over de problemen van wetenschap en samenleving, maar eigenlijk kunnen die twee nauwelijks meer worden gescheiden. In toenemende mate leven we in een technologische cultuur. Negentig procent van de wetenschappelijke kennis is de laatste generatie geproduceerd. De maatschappij wordt door de technologie binnen één generatie drastisch veranderd.

Dit heeft volgens Willem de Ruiter onder andere geleid tot een crisis in de normen en waarden van mensen. Dat hij dát als een voornaam probleem naar voren haalt, is opmerkelijk. Het is niet gebruikelijk dat linkse mensen hier veel aandacht aan besteden. "Er zit natuurlijk een leuke

kant aan: voor het eerst in de geschiedenis heeft het individu een ongekende vrijheid. Maar de negatieve zijde is heel groot: de cohesie is verdwenen. Dat heeft ernstige gevolgen voor de solidariteit, de zorg voor de medemens." De natuurkundige ziet niets in het weer naar voren halen van de religie. De nieuwe normen zullen volgens hem door de mensen gezamenlijk moeten worden ontwikkeld.

Wetenschappers hebben een enorm prestige. Zouden zij geen samenbindende rol kunnen spelen? De Ruiter acht dat onmogelijk: "Wetenschap levert geen normen op." Er is een moreel vacuüm dat door de overgrote aandacht voor de technologie alleen maar verdoezeld wordt. Aan het begin van de Brede Maatschappelijke Discussie over Kernenergie van jonkheer De Brauw, zou een deel geconcentreerd worden op de normen en waarden die in het geding zijn." De Ruiter constateert dat daar niets van terecht is gekomen: "kenne-lijk hebben we daar een enorme blinde vlek voor." Ik zou liever zien dat de programma's over technologie op scholen en in de media worden vervangen door programma's over de nieuwe normen die nodig zijn."

Hebben we, alles overziende, eigenlijk niet met een technologie-hater te maken? Valt de pessimist Donkersloot soms samen met Willem de Ruiter? De Ruiter (lachend): "Nee hoor, ik ben razend enthousiast over de moderne natuurkunde, vooral de elementaire deeltjesfysica. Zeer fascinerend. En de vooruitgang in de technologie is onmiskenbaar fenomenaal geweest. Het debat tussen Klinkhamer en Donkersloot is ook een dilemma in mijzelf."

OPGAVEN & PRIJSVRAAG

Vragen?

Bij het artikel over silicium van prof dr J. Reedijk zijn de volgende vragen voor gebruik in het onderwijs opgesteld door drs J. Bouma en drs A.J. Mast, respectievelijk vakdidacticus aan de Vrije Universiteit te Amsterdam en scheikundedocent aan het Petrus Canisius College te Alkmaar.

1. Noem, na zuurstof en silicium, drie elementen die veel in de aardkorst voorkomen.
2. Waarom heeft men glas pas later dan aardewerk kunnen vervaardigen?
3. Uit welke drie elementen zijn planten voornamelijk opgebouwd? Waarom vindt men daarvan niets in de as?
4. Noem nog enkele silicaathoudende halfedelgesteenten.
5. Wat zijn kationen? Waarom worden ze zo genoemd?
6. Waaraan moet de bruine kleur van zand worden toegeschreven?
7. Wat gebeurt er met de organische molekulen wanneer ze als matrix voor de holten in zeolieten hebben gefungeerd?
8. Welke andere 'sferen' ken je behalve de lithosfeer? Welke elementen komen daarin het meeste voor?
9. Stel de vergelijking op voor de reactie tussen Si en HCl bij 300°C.
10. Ga na hoeveel massaprocent silicium voorkomt in ferrosilicium. Waarvoor wordt ferrosilicium gebruikt?
11. Verklaar, dat silicium minder hard is dan diamant. Wat kun je zeggen van het smeltpunt van Si, vergeleken met diamant?
12. Geef de reactievergelijking voor de hydrolyse van kiezelzuur in basisch milieu, waarbij een mononucleair silicaat ontstaat.
13. Waterglas werd vroeger gebruikt om (gekookte) eieren mee in te maken. Probeer na te gaan wat de conserverende werking ervan is.
14. Waarom gebruikt men voor de chemische tuin bij voorkeur

geen zouten als magnesium-, calcium- of kaliumzouten?

15. Waarop berust het kleurverschil in blauwe (droge) en rose (vochtige) silicagel?
16. Wat voor aggregatietoestand heeft amorf Si?
17. Wat gebeurt er bij het kraken in een olieraffinerij? Wat is het verschil tussen kraken en hydrokraken?
18. Ga na welke afmetingen molekulen zuurstof en stikstof bezitten. Hoe groot moet dan het 'gat' in een luchtscheidende zeoliet ongeveer zijn?
19. Waarom verwijdert men wel Ca^{2+} - en Mg^{2+} -ionen uit drinkwater?
20. De meeste glassoorten hebben een groene of bruine tint. Door welke ionen worden deze veroorzaakt?
21. Wat zijn diatomeeën? Waarom worden die gebruikt bij de bereiding van dynamiet?

Prijsvraag

Oplossing maart

Ja, inderdaad, er stond een fout in de opgave, althans in het bijgeleverde voorbeeld van een wonderrij. De rij getallen moest niet 1 3 3 5 6 7 7 9 9 10 zijn.

De definitie van een wonderrij van tien termen klopte echter, en daaruit viel de te stellen eis aan een wonderrij van veertien termen ook wel af te leiden. Toch gaf de fout aanleiding tot veel verwarring. Uw puzzelredactie volgt het advies van enkele trouwe inzenders en besluit deze puzzel niet mee te tellen voor de laddercompetitie. Aangezien we niet op een voordeeltje uit zijn, trokken we twee in plaats van één prijswinnende inzendingen uit de stapel, waarbij het deze ene keer niet van belang was of de oplossing goed of fout was. Uw puzzelredactie belooft hierbij plechtig de zetproeven voortaan beter te zullen controleren.



Rectificatie

In het artikel van prof Staubert en dr Icke in het vorige nummer is een tweetal fouten geslopen. Bij afbeelding 3 is in het bijschrift verzuimd te vermelden dat het afgebeelde stelsel, dat in het cen-

trum van onze melkweg ligt, *volgens sommige astronomen*, een Seyfertstelsel is. Afbeelding 1-4 stelt geen accretieschijf voor, maar 'n gewoon spiraalstelsel. Onze excuses aan lezers en auteurs.

OPGAVEN & PRIJSVRAAG

De gelukkigen zijn deze maand: H.G. Smid uit Emmen (goede oplossing) en Jacques Potters uit De Lier die zond geen oplossing, maar wijst ons op de fout en

schrijft: "zo'n puzzel noem ik een wonder(lijke) puzzel. Hoeveel van dergelijke wonderpuzzels zijn er? Ik zou het niet weten."

De nieuwe opgave

Een horizontaal opgestelde plaat wordt in harmonische trilling gebracht met een frequentie van 500 Hz. Op de plaat liggen zandkorreltjes die meetrillen. De maximale hoogte die de meetrillende korreltjes bereiken is 3 mm ten opzichte van de evenwichtstoestand van de plaat. Bereken de maximale uitwijking van de plaat.

Deze opgave is afkomstig van de organisatie van de Nederlandse Natuurkunde Olympiade. Oplossingen die voor 15 juni op de redactie zijn dingen mee naar de lootprijs, die bestaat uit een boek uit de Wetenschappelijke Biblio-

theek van Natuur en Techniek. Die inzenders worden tevens geregistreerd voor de laddercompetitie en krijgen daarvoor zes punten. Wie veel inzendt en veel punten haalt, heeft uiteindelijk de meeste punten van iedereen en krijgt dan een jaarabonnement op Natuur en Techniek. Alle verzamelde punten verdwijnen in zo'n geval echter.

Inzendadres:
Natuur en Techniek
Prijsvraag
Postbus 415
6200 AK Maastricht



NATUUR EN TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:
Postbus 415, 6200 AK Maastricht.
Telefoon: 043-254044*.

Voor België:
Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.
Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:
Stokstraat 24, Maastricht.

Advertenties:
R. Bodden-Welsch:
tel. 043-254044.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de CAHIERS BIO-WETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ. Abonnees op Natuur en Techniek en studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 25,- of 485 F.

Abonnementenprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:
f 105,- of 2060 F.

Prijs voor studenten: f 80,- of 1565 F.

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 10,00 of 200 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR EN TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang.

TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

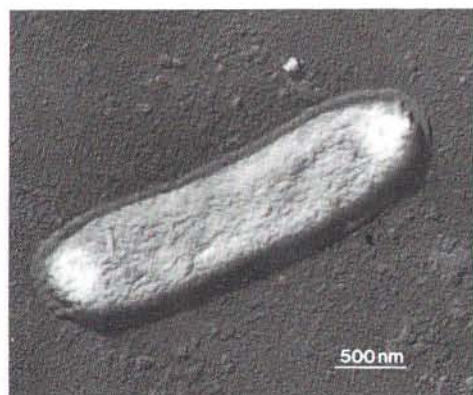
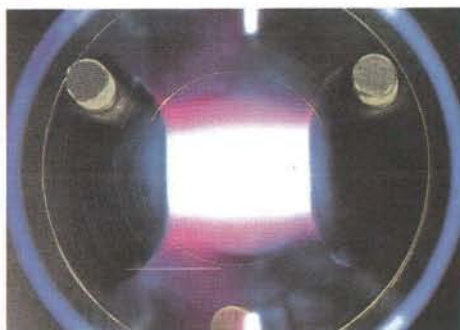
Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.

VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

Gaslasers

Dr R.J.M. Bonnie,
ir J.W. Gerritsen en
drs M. Hartemink

De lasertechnologie heeft een grote vlucht genomen. Overal kom je lasers tegen: in wetenschap, techniek, geneeskunde, geluidsapparatuur, supermarktkassa's. Gaslasers nemen binnen deze toepassingen een belangrijke plaats in.



Darmflora

Prof dr D. van der
Waaij

Het menselijk lichaam is een huis voor een groot aantal bacteriesoorten. De meeste zitten in de darmen. Dat is niets om ongerust over te worden: we hebben de meeste nodig om gezond te kunnen blijven. De mens werkt intensief samen met deze micro-organismen.

Oerknal

Prof sir Fred Hoyle en
prof C. Wickramasinghe

Het heelal is ongeveer 15 miljard jaar geleden ontstaan in de oerknal. Dat is althans de meest geaccepteerde theorie. Een sterke aanwijzing ervoor is de zogenaamde kosmische achtergrondstraling. Er bestaan echter ook aanwijzingen dat deze straling een heel andere oorsprong heeft en dat de oerknal nooit plaatsvond.



Bijesteken

Prof dr R.C. Hider

De bijen vliegen weer uit de bijenkorven op zoek naar nectar uit bloemen. Daarmee wordt ook de kans op een steek groter. Het vocht dat dan door de

angel het wondje inloopt bevat allerlei toxische stoffen; die farmacologisch interessant zijn omdat ze heel specifiek aan bepaalde receptoren binden.

Belvédère

Dr W. Roebroeks

Al een kwart miljoen jaar geleden woonden er mensen in Maastricht. Dat blijkt uit opgravingen in de Belvédère-groef, die al sinds 1980 plaatsvinden. Archeologen, pa-

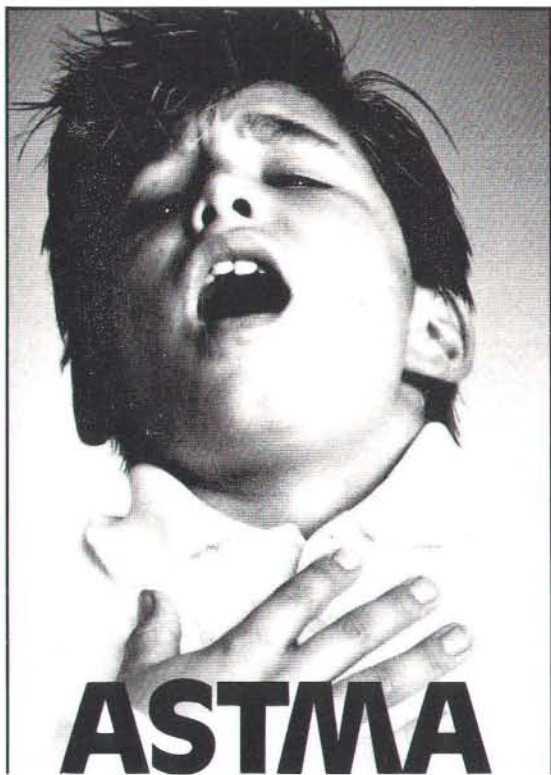
leontologen en andere specialisten vonden kleine kampementen en stelden vast dat bijvoorbeeld ook wolharige neushoorns nog in Limburg voorkwamen.

Reactoren

Prof dr ir D. Thoenes

Producten die langs chemische weg worden gemaakt ontstaan in een reactor. Reactoren komen voor in vele soorten en maten. Sommige passen in een gemiddelde woonkamer, andere zijn vuurtorenhoog. Een beperkt aantal principes ligt ten grondslag aan het ontwerp ervan.





ASTMA een schreeuw om hulp...

Elke dag zijn er meer dan honderdduizend mensen in ons land die snakken naar lucht. Mensen die last hebben van CARA, zoals astma of longemfyseem. Een ziekte die zo levensbedreigend kan zijn, dat deze bijna viermaal zoveel dodelijke slachtoffers eist dan het verkeer. CARA is één van de meest onderschatte handicaps in ons land waarvoor nog geen afdoende behandeling is gevonden.

nog
Genezen kan/niet. Helpen wel!

Het Astma Fonds doet er alles aan om het lot van CARA-patiënten te verlichten. Door onderzoek, met voorlichting en met daadwerkelijke hulp. Daarvoor is veel geld nodig.

Geef het Astma Fonds de mogelijkheid om te helpen.

Uw steun is onmisbaar. Geef gul!

Astma  Fonds
Giro 55055

Bank 70.70.70.120